



TUGAS AKHIR - RC14-1501

**PERKUATAN GEDUNG DENGAN MENGGUNAKAN
CARBON FIBER REINFORCED POLYMER (CFRP)
STUDI KASUS MENGGUNAKAN LAYOUT GEDUNG
LABORATORIUM C-DAST DAN RUANG KULIAH
BERSAMA UNIVERSITAS JEMBER**

YUDITH VEMMY
NRP 3114 106 019

Dosen Pembimbing I :
Prof. Dr. Ir. Triwulan
NIP. 19510309 197412 2 001

Dosen Pembimbing II :
Dr. Techn. Pujo Aji ST., MT
NIP. 19730208 199802 1 001

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - RC14-1501

**BUILDING STRENGTHENING USING
*CARBON FIBER REINFORCED POLYMER (CFRP)***

CASE STUDY USING UNIVERSITAS JEMBER C-DAST
LABORATORY AND LECTURE ROOM LAYOUT

YUDITH VEMMY
NRP 3114 106 019

Supervisor I :
Prof. Dr. Ir. Triwulan
NIP. 195103091974122001

Supervisor II :
Dr. Techn. Pujo Aji ST., MT
NIP. 197302081998021001

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - RC14-1501

**PERKUATAN GEDUNG DENGAN MENGGUNAKAN
CARBON FIBER REINFORCED POLYMER (CFRP)**

**STUDI KASUS MENGGUNAKAN LAYOUT GEDUNG
LABORATORIUM CDAST DAN RUANG KULIAH BERSAMA
UNIVERSITAS JEMBER**

YUDITH VEMMY
NRP 3114 106 019

Dosen Pembimbing I :
Prof. Dr. Ir. Triwulan
NIP. 19510309 197412 2 001

Dosen Pembimbing II :
Dr. Techn. Pujo Aji ST., MT
NIP. 19730208 199802 1 001

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT – RC14-1501

**BUILDING STRENGTHENING USING
CARBON FIBER REINFORCED POLYMER (CFRP)
CASE STUDY USING UNIVERSITAS JEMBER C-DAST
LABORATORY AND LECTURE ROOM LAYOUT**

YUDITH VEMMY
NRP 3114 106 019

Supervisor I :
Prof. Dr. Ir. Triwulan
NIP. 19510309 197412 2 001

Supervisor II :
Dr. Techn. Pujo Aji ST., MT
NIP. 19730208 199802 1 001

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017

PERKUATAN GEDUNG DENGAN MENGGUNAKAN CARBON FIBER REINFORCED POLYMER (CFRP)

STUDI KASUS MENGGUNAKAN LAYOUT GEDUNG LABORATORIUM C-DAST DAN RUANG KULIAH BERSAMA UNIVERSITAS JEMBER

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada**

**Program Studi S-1 Lintas Jalur Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

YUDITH VEMMY

NRP. 3114 106 019

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

1. Prof. Dr. Ir. Triwulan(Pembimbing I)

2. Dr. Techn. Pujo Aji ST, MT(Pembimbing II)



**SURABAYA
JANUARI 2017**

**PERKUATAN GEDUNG DENGAN MENGGUNAKAN
CARBON FIBER REINFORCED POLYMER (CFRP)
STUDI KASUS MENGGUNAKAN LAYOUT GEDUNG LABORATORIUM
C-DAST DAN RUANG KULIAH BERSAMA UNIVERSITAS JEMBER**

Nama Mahasiswa	: Yudith Vemmy
NRP	: 3114 106 019
Jurusan	: Teknik Sipil FTSP-ITS
Dosen Pembimbing I	: Prof. Dr. Ir. Triwulan
Dosen Pembimbing II	: Dr. Techn. Pujo Aji, ST, MT

Abstrak

Gedung Laboratorium C-Dast dan Ruang Kuliah Bersama adalah gedung yang dibangun untuk mendukung proses perkuliahan mahasiswa Universitas Jember yang dibangun mulai tahun 2014. Gedung ini direncanakan memiliki 8(delapan) lantai, dan dibangun dalam 2(dua) tahap. Pembangunan tahap pertama telah selesai dikerjakan pada tahun 2015 dengan lingkup pengerjaan sampai dengan lantai 4. Selanjutnya akan dilakukan pembangunan tahap kedua. Pembangunan tahap kedua meliputi pengerjaan mulai dari lantai 5(lima) sampai dengan lantai 8(delapan).

Dalam tugas akhir ini, Gedung Laboratorium C-Dast dan Ruang Kuliah Bersama Universitas Jember akan dianalisa kekuatannya dan akan dihitung kebutuhan perkuatannya, karena pembangunan tahap 1 (satu) gedung ini masih dihitung berdasarkan peraturan yang lama. Sehingga diperkirakan struktur eksistingnya membutuhkan kekuatan.

Perkuatan Gedung Laboratorium C-Dast dan Ruang Kuliah Bersama direncanakan menggunakan teknologi CFRP karena dalam pelaksanaannya CFRP lebih mudah dilakukan di lapangan karena tidak perlu membongkar elemen struktur eksisting sehingga dapat mempercepat pengerjaan konstruksinya. CFRP yang akan digunakan adalah CFRP yang diproduksi oleh SIKI.

Dalam Tugas Akhir ini, dilakukan perencanaan meliputi analisa perkuatan elemen struktur balok dan kolom eksisting dengan menggunakan CFRP, serta perencanaan pelat, balok anak, tangga, lift, balok induk, dan kolom untuk pembangunan tahap 2 yang mengacu pada peraturan yang berlaku diantaranya SNI 1727-2013 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, SNI 2847-2013 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, SNI 1726:2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung, PBI 1971 tentang Peraturan Beton Bertulang Indonesia, ACI 440.2R-008

Kata kunci : Perkuatan Struktur, CFRP

**BUILDING STRENGTHENING USING
CARBON FIBER REINFORCED POLYMER (CFRP)
CASE STUDY USING UNIVERSITAS JEMBER C-DAST LABORATORY
AND LECTURE ROOM LAYOUT**

Student Name	: Yudith Vemmy
NRP	: 3114 106 019
Department	: Teknik Sipil FTSP-ITS
Supervisor I	: Prof. Dr. Ir. Triwulan
Supervisor II	: Dr. Techn. Pujo Aji, ST, MT

Abstract

C-Dast Laboratory and Lecture Room Building was build to support lecture process of the Universitas Jember' strudents that constructed start from 2014. This building was planned to have 8(eight) floors, and was construted in 2(two) phase. First phase of construction have been done at 2015 that the scope is until fourth floor. Next, the second phase will be start from the fifth floor until the eight floor.

In this final project, the strength of C-Dast Laboratory and Lecture Room Building will be analyzed and will the strengthening needed will be count, because the first phase of construction is still using the old code. So the existing structure is estimated need a strengthening.

C-Dast Laboratory and Lecture Room Building strengthening is planned by using CFRP technology because they do not need to dismantle the existing structural elements so that the construction can be done quickly. The CFRP that will be used is CFRP that produced br SIKA.

In this final project, the planning we do is includes analysis of retaining structure of existing elements columns and beams using CFRP plates which refers to the regulations include SNI 1727-2013 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, SNI 2847-2013 regarding Tata Cara Perhitungan Struktur Beton, SNI 1726:2012 Tata Cara Perencanaan

Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung, PBI 1971 reinforced Peraturan Beton Bertulang Indonesia, ACI 440.2 R-008 Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures

Kata kunci : Stucture Strengthening, CFRP

KATA PENGANTAR

Tersusunnya Tugas Akhir ini juga tidak terlepas dari dukungan dan motivasi berbagai pihak yang banyak membantu dan memberi masukan. Untuk itu ucapan terima kasih ditujukan terutama kepada :

1. Orang tua dan segenap keluarga besar penulis sebagai penyemangat terbesar bagi kami, dan yang telah banyak memberi dukungan moril maupun materiil terutama doanya.
2. Ibu Prof. Dr. Ir. Triwulan dan Bapak Dr.techn. Pujo Aji, ST., MT, selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, petunjuk, dan motivasi dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Teman-teman yang telah memberikan semangat, dukungan, dan bantuan ketika penulis menghadapi permasalahan sehingga dapat menemukan solusi atas permasalahan yang dihadapi.
4. Segenap Dosen dan Staf Jurusan Teknik Sipil, FTSP, ITS.
5. Dan pihak-pihak lain yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.

Kami menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan dan masih jauh dari sempurna, untuk itu kami mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

JUDUL.....	i
TITLE.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.2.1. Masalah Umum.....	2
1.2.2. Rincian Masalah	2
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan	3
1.4.1. Tujuan Umum.....	3
1.4.2. Tujuan Khusus	3
1.5. Manfaat	4
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Umum.....	5
2.2. Perkuatan Struktur.....	5
2.3. Fiber Reinforced Polymer (FRP)	6
2.3.1. Carbon	6
2.3.2. Glass	8
2.3.3. Aramid	9
2.4. Keunggulan dan Kekurangan FRP.....	10
2.4.1. Keunggulan FRP.....	10
2.4.2. Kekurangan FRP.....	10
2.5. Peraturan yang Digunakan	10

BAB III.....	11
METODOLOGI	11
3.1. Bagan Alir Metodologi	11
3.2. Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir	12
3.2.1. Studi Literatur.....	12
3.2.2. Pengumpulan Data.....	13
3.2.3. Pembebanan Struktur.....	14
3.2.4. Permodelan Struktur	26
3.2.5. Analisa Struktur.....	26
3.2.6. Perhitungan Kapasitas Elemen Struktur Eksisting.....	27
3.2.7. Evaluasi Kekuatan Elemen Struktur Awal	28
3.2.8. Perhitungan Perkuatan Struktur Eksisting	28
3.2.9. Kesimpulan.....	29
3.2.10. Gambar Teknik	29
BAB IV	31
PEMBAHASAN.....	31
4.1. Perhitungan Struktur Sekunder	31
4.1.1. Pelat Lantai	31
4.1.2. Perhitungan Balok Anak	36
4.1.3. Perhitungan Tangga.....	57
4.2. Analisa Dan Permodelan Struktur.....	66
4.2.1. Penjelasan Umum	66
4.2.2. Pembebanan.....	67
4.2.3. Hasil Analisa Struktur	73
4.3. Analisa Struktur Primer Eksisting.....	85
4.3.1. Balok Induk	85
4.3.2. Desain Kolom	111
4.3.3. Dinding Geser.....	124
4.4. Perhitungan Perkuatan Struktur Eksisting	129
4.4.1. Perkuatan Balok.....	129
4.4.2. Perkuatan Kolom	133
4.5. Metode Pelaksanaan.....	137
4.5.1. Umum	137
4.5.2. Persiapan Permukaan Beton	137

4.5.3. Persiapan Permukaan CFRP	137
4.5.4. Persiapan Permukaan CFRP	137
4.5.5. Curing	138
BAB V	139
PENUTUP	139
5.1. Kesimpulan	139
5.2. Saran.....	142
DAFTAR PUSTAKA	143
LAMPIRAN
BIODATA PENULIS

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Profil Tulangan	8
Tabel 2.2. Perubahan Peraturan	10
Tabel 3.7 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa	16
Tabel 3.8 Faktor Keutamaan Gempa	17
Tabel 3.8. Klasifikasi Situs	18
Tabel 3.9. Koefisien Situs, F_a	20
Tabel 3.11. Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda Pendek.....	22
Tabel 3.12 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda 1 Detik	23
Tabel 3.13. Sistem Penahan Gaya Gempa	23
Tabel 4.1 Kontrol Berat Bangunan	74
Tabel 4.2 Gaya Geser Dasar Ekuivalen Arah X	75
Tabel 4.5 Kontrol Sistem Ganda Arah X.....	77
Tabel 4.6 Periode Struktur dan Rasio Partisipasi Massa	77
Tabel 4.7 Simpangan Antarlantai Arah X.....	78
Tabel 4.8 Simpangan Antarlantai Arah Y.....	78
Tabel 4.9 Kontrol Pengaruh $P-\Delta$ Arah X.....	80
Tabel 4.10 Kontrol Pengaruh $P-\Delta$ Arah Y.....	80
Tabel 4.11 Data Eksentrisitas Torsi Bawaan	81
Tabel 4.12 Data Eksentrisitas Torsi Tak Terduga	82
Tabel 4.13 Nilai dari δ_{\max} , δ_{avg} , dan A_x untuk gempa arah x	83
Tabel 4.14 Nilai dari δ_{\max} , δ_{avg} , dan A_y untuk gempa arah y	84
Tabel 5.1. Rekapitulasi Perkuatan Lentur Balok Lantai 3	141
Tabel 5.2. Rekapitulasi Perkuatan Lentur Balok Lantai 4	141
Tabel 5.3. Rekapitulasi Perkuatan Geser Kolom Lantai 1	142
Tabel 5.4. Rekapitulasi Perkuatan Geser Kolom Lantai 2.....	142

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.2 Contoh pemasangan SIKa CarboDur	7
Gambar 2.3 Contoh pemasangan SIKa Wrap.....	8
Gambar 2.5 Glass Fiber Reinforced Polymer.....	9
Gambar 2.6 Aramid Fiber Reinforced Polymer	9
Gambar 3.1 Bagan Alir Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir	12
Gambar 3.4. Peta Wilayah Gempa Indonesia yang dipertimbangkan resiko-tertarget.....	19
(MCE _R -percepatan 0.2 detik, probabilitas 2% dalam 50 tahun)..	19
Gambar 3.5. Peta Wilayah Gempa Indonesia yang dipertimbangkan resiko-tertarget.....	19
(MCE _R -percepatan 1 detik, probabilitas 2% dalam 50 tahun).....	19
Gambar 3.8 Kapasitas Penampang Balok Beton Bertulang dengan Tulangan Rangkap.....	27
Gambar 4.1 Pelat Tipe A	31
Gambar 4.3 Tributary Area Balok Anak 1	37
Gambar 4.4 Distribusi Beban Merata Balok Anak 1	37
Gambar 4.4 Momen Balok Anak yang terjadi.....	38
Gambar 4.5 Geser Pada Balok Anak.....	45
Gambar 4.6 Tributary Area Balok Anak 1	47
Gambar 4.7 Distribusi Beban Merata Balok Anak 1	47
Gambar 4.8.	57
Gambar 4.9. Tampak atas Gedung Laboratorium C-Dast dan Ruang Kuliah Bersama Universitas Jember	66
Gambar 4.10. Model 3D Struktur Gedung Laboratorium C-Dast dan Ruang Kuliah Bersama Universitas Jember	67
Gambar 4.11. Spektrum Respons Gempa Rencana	71
Gambar 4.12. Lokasi balok yang ditinjau.....	85
Gambar 4.13. Penampang Balok	85
Gambar 4.14. Momen ultimit balok	86
Gambar 4.15. Asumsi Balok T	90
Gambar 4.16. Gaya geser tumpuan ultimit.....	94
Gambar 4.17. Gaya geser lapangan ultimit	96
Gambar 4.18. Torsi yang terjadi pada BI-1	97
Gambar 4.19. Lokasi balok yang ditinjau.....	98
Gambar 4.20. Penampang Balok	98

Gambar 4.21. Momen ultimit balok	99
Gambar 4.22. Asumsi Balok T	103
Gambar 4.23. Gaya geser tumpuan ultimit.....	107
Gambar 4.24. Gaya geser lapangan ultimit	109
Gambar 4.25. Torsi yang terjadi pada BI-1	110
Gambar 4.26. Kolom K1A pada denah	111
Gambar 4.27. Kolom K1 pada portal	111
Gambar 4.28. <i>Output</i> Gaya Kolom K1A.....	112
Gambar 4.29. Penampang Kolom K1A.....	113
Gambar 4.30. <i>Output</i> Gaya Kolom K1 Lantai 2	115
Gambar 4.31. Penampang Kolom K1 Lantai 2	116
Gambar 4.32. Ilustrasi Kuat Momen yang Bertemu di HBK	118
Gambar 4.33. Gaya geser ultimit maksimum pada kolom K1A	123
Gambar 4.34. Lokasi Shearwall yang ditinjau	125
Gambar 4.35. Penampang Dinding Geser	125
Gambar 4.36. Diagram interaksi dinding geser.....	127
Gambar 4.37. Lokasi balok yang ditinjau	129
Gambar 4.38. Penampang Balok.....	130
Gambar 4.39. Pemasangan perkuatan CFRP pada balok	133
Gambar 4.40. Kolom K1A pada denah	133
Gambar 4.41. Penampang Kolom	134
Gambar 4.42. Pemasangan perkuatan CFRP pada Kolom	136
Gambar 4.43. Perkuatan CFRP	138

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Gedung Laboratorium C-Dast dan Ruang Kuliah Bersama Universitas Jember adalah gedung yang dibangun untuk mendukung proses perkuliahan mahasiswa Universitas Jember yang dibangun mulai tahun 2014. Gedung ini direncanakan memiliki 8(delapan) lantai, dan dibangun dalam 2(dua) tahap. Pembangunan tahap pertama telah selesai dikerjakan pada tahun 2015 dengan lingkup pengerjaan sampai dengan lantai 4. Selanjutnya akan dilakukan pembangunan tahap kedua. Pembangunan tahap kedua meliputi pengerjaan mulai dari lantai 5(lima) sampai dengan lantai 8(delapan).

Dalam tugas akhir ini, Gedung Laboratorium C-Dast dan Ruang Kuliah Bersama Universitas Jember akan dianalisa kekuatannya dan akan dihitung kebutuhan perkuatannya, karena pembangunan tahap 1 (satu) gedung ini masih dihitung berdasarkan peraturan yang lama. Sehingga diperkirakan struktur eksistingnya membutuhkan perkuatan.

Perkuatan struktur pada umumnya bertujuan untuk mengembalikan atau meningkatkan kekuatan elemen struktur agar mampu menahan beban sesuai rencana. Perkuatan struktur dapat dilakukan dalam beberapa metode. Metode perkuatan struktur bisa dilakukan dengan cara penyelubungan dengan beton atau Concrete Jacketing, penyelubungan dengan baja atau Steel Jacketing dan penyelubungan dengan material ringan komposit yaitu *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) (Sunaryo, Taufik H.,Siswanto, 2009).

FRP adalah jenis material yang ringan, mempunyai kuat tarik yang sangat tinggi (7-10 kali lebih tinggi dari baja), dan mudah dalam pelaksanaannya di lapangan. FRP dapat terbuat dari 3(tiga) bahan komposit, yaitu Carbon, Glass, dan Aramid. Perkuatan struktur gedung ini direncanakan menggunakan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP). CFRP lebih mudah

dilakukan dalam pelaksanaannya di lapangan karena tidak perlu membongkar elemen struktur eksisting sehingga dapat mempercepat pengerjaan konstruksinya (Pangestuti, Nuroji, Antonius, 2006).

CFRP adalah serat karbon yang didefinisikan sebagai serat yang mengandung setidaknya 90% berat karbon. Serat karbon tidak menunjukkan korosi atau pecah pada suhu kamar. Fungsi perkuatan dengan system CFRP adalah untuk meningkatkan kekuatan atau memberikan peningkatan kapasitas lentur, geser, axial dan daktilitas. Cara pemasangan CFRP adalah dengan melilitkannya mengelilingi permukaan perimeter elemen struktur yang diperkuat dengan menggunakan perekat epoxy resin. Sistem kerjanya sama dengan tulangan transversal konvensional. (Karmila, Agoes, Tavio, 2013)

Dalam tugas akhir ini, penguatan struktur Gedung Laboratorium C-Dast dan Ruang Kuliah Bersama direncanakan menggunakan teknologi CFRP yang diproduksi oleh SIKA. Penulis akan menganalisa berapa jumlah CFRP yang digunakan untuk memperkuat struktur eksisting sehingga mampu menahan beban sesuai peraturan baru dan metode pelaksanaannya di lapangan.

1.2. Perumusan Masalah

1.2.1. Masalah Umum

Bagaimana analisa penguatan struktur Gedung Laboratorium C-Dast dan Ruang Kuliah Bersama Universitas Jember dengan menggunakan teknologi CFRP?

1.2.2. Rincian Masalah

Perumusan masalah yang dihadapi dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana menganalisa kekuatan gedung dengan pembebanan sesuai peraturan baru?
2. Bagaimana permodelan struktur gedung dengan program bantu?
3. Bagaimana menghitung kapasitas kekuatan struktur eksisting gedung?

4. Bagaimana menghitung kekuatan elemen struktur eksisting yang membutuhkan kekuatan dengan menggunakan CFRP?
5. Bagaimana metode pelaksanaan kekuatan CFRP di lapangan?
6. Bagaimana menuangkan hasil perhitungan ke dalam gambar teknik dengan program bantu?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Perencanaan struktur mengacu pada SNI 03-2847-2013.
2. Pembebanan gravitasi dihitung berdasarkan SNI 1727-2013 dan PPIUG 1987
3. Pembebanan gempa dihitung berdasarkan SNI 03-1726-2012.
4. Standar dan mutu CFRP mengacu pada ACI 440.2R-08.
5. Program bantu yang digunakan adalah ETABS 2013 dan AutoCAD.
6. Perencanaan kekuatan hanya meninjau elemen balok dan kolom lantai eksisting (lantai 1-4).
7. Tidak menghitung kebutuhan struktur untuk lantai tambahan (lantai 5-8).
8. Tidak meninjau struktur bawah.
9. Tidak memperhitungkan analisis waktu dan biaya.

1.4. Tujuan

1.4.1. Tujuan Umum

Mengetahui analisa kekuatan struktur Gedung Laboratorium C-Dast dan Ruang Kuliah Bersama Universitas Jember dengan menggunakan teknologi CFRP.

1.4.2. Tujuan Khusus

Tujuan dari penyusunan Tugas Akhir ini adalah :

1. Mengetahui cara menganalisa kekuatan gedung dengan pembebanan sesuai peraturan baru.

2. Mengetahui cara permodelan struktur gedung dengan program bantu.
3. Mengetahui cara menghitung kapasitas kekuatan struktur eksisting gedung.
4. Mengetahui cara menghitung perkuatan elemen struktur eksisting yang membutuhkan perkuatan dengan menggunakan CFRP .
5. Mengetahui metode pelaksanaan perkuatan CFRP di lapangan.
6. Mengetahui cara menuangkan hasil perhitungan ke dalam gambar teknik dengan program bantu.

1.5. Manfaat

Manfaat dari penyusunan Tugas Akhir ini adalah :
Mengetahui cara menghitung Perkuatan Gedung dengan menggunakan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Beton sebagai salah satu material yang banyak digunakan pada struktur bangunan sipil mempunyai perilaku yang spesifik yaitu memiliki kuat tarik yang jauh lebih kecil dari kuat tekannya. Oleh karena itu material beton umumnya digabungkan dengan material lain yang mempunyai kuat tarik besar, seperti baja tulangan atau baja profil sehingga merupakan kesatuan struktur yang komposit beton bertulang. (Pangestuti, Nuroji, Antonius, 2006).

Struktur beton bertulang sudah banyak diaplikasikan pada berbagai sarana dan prasarana umum seperti struktur gedung, jembatan, dan lain sebagainya. Seiring dengan berjalannya waktu, seringkali terjadi peningkatan beban yang harus dipikul oleh suatu struktur bangunan, misalnya struktur gedung yang beralih fungsi, atau struktur beton yang telah mengalami kerusakan yang menyebabkan penurunan kapasitas struktur dalam menahan beban. Oleh karena itu struktur tersebut memerlukan perkuatan untuk meningkatkan kapasitas dalam menahan beban. (Noorhidana, Purwanto.2012).

Salah satu metode perkuatan struktur beton adalah dengan menggunakan FRP (*Fiber Reinforced Polymer*). FRP adalah jenis material yang ringan, mempunyai kuat tarik yang sangat tinggi (7-10 kali lebih tinggi dari baja), dan mudah dalam pelaksanaannya di lapangan. Elemen struktur beton yang dapat diperkuat dengan FRP adalah balok, pelat, dan kolom beton bertulang.

2.2. Perkuatan Struktur

Perkuatan struktur pada umumnya bertujuan untuk mengembalikan atau meningkatkan kekuatan elemen struktur agar

mampu menahan beban sesuai rencana. Perkuatan struktur dapat dilakukan dalam beberapa metode. Metode perkuatan struktur bisa dilakukan dengan cara penyelubungan dengan beton atau Concrete Jacketing, dengan cara penyelubungan dengan baja atau Steel Jacketing dan dengan penyelubungan dengan material ringan komposit yaitu *Fiber Reinforced Polymer* (FRP).

2.3. Fiber Reinforced Polymer (FRP)

Fiber Reinforced Polymer (FRP) terbuat dari bahan yang ringan, tidak korosif, dan mampu menahan kuat tarik tinggi. FRP dapat terbuat dari 3(tiga) bahan komposit, yaitu Carbon, Glass, dan Aramid.

2.3.1. Carbon

Serat karbon didefinisikan sebagai serat yang mengandung setidaknya 90% berat karbon. Serat karbon tidak menunjukkan korosi atau pecah pada suhu kamar. Fungsi perkuatan dengan system CFRP adalah untuk meningkatkan kekuatan atau memberikan peningkatan kapasitas lentur, geser, axial dan daktilitas. Cara pemasangan CFRP adalah dengan melilitkannya mengelilingi permukaan perimeter elemen struktur yang diperkuat dengan menggunakan perekat epoxy resin seperti pada gambar 2.1. Sistem kerjanya sama dengan tulangan transversal konvensional. (Karmila,Agoes,Tavio,2013)



Gambar 2.1 Carbon Fiber Reinforced Polymer

Dalam tugas akhir ini penulis menggunakan CFRP produksi SIKA. SIKA memproduksi 3(tiga) jenis CFRP, yaitu SIKA CarboDur berbentuk pelat tipis dengan bahan perekat

menggunakan epoxy SIKADUR 30, SIKa WRAP berbentuk serat fiber dengan bahan perekat epoxy SIKADUR 330, dan yang terbaru NSM (*Near Surface Mounted*) yaitu menanam NSM kedalam beton. Berdasarkan bentuknya NSM terbagi menjadi 2(dua) jenis, yaitu : bulat seperti tulangan, dan pelat kecil.

a. SIKa CarboDur

Berbentuk pelat yang tebalnya 1,2mm. Perekat epoxy menggunakan SIKADUR 30. Cara pemasangannya ialah dengan mengoleskan epoxy ke beton yang permukaannya sudah dikasarkan. Epoxy juga dioleskan pada SIKa CarboDur, lalu direkatkan ke beton. Pemasangan SIKa CarboDur dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Contoh pemasangan SIKa CarboDur

b. SIKa Wrap

Berbentuk serat yang tebalnya 0,167 mm. Perekat epoxy menggunakan SIKADUR 330. Cara pemasangan yaitu dengan mengoleskan epoxy ke permukaan beton yang sudah dikasarkan, SIKa Wrap ditempel di permukaan beton dan di tekan dengan rol, sehingga epoxy masuk ke dalam serat dan menjadi komposit. Pemasangan SIKa Wrap dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Contoh pemasangan SIKa Wrap

c. NSM (Near Surface Mounted)

Sistem baru yang berbentuk plat kecil dan tulangan. Dipasang di dalam beton dengan cara melubangi beton lalu memasukkan tulangan kedalamnya lalu mengisi lubang dengan epoxy SIKDUR 30. Pemasangan NSM dapat dilihat pada gambar 2.4.

Tabel 2.1 Profil Tulangan

Type BC	diameter mm	A mm ²
BC 6	6	28
BC 8	8	50
BC 10	10	79
BC 12	12	113

E-Modulus [GPa]	140
Tensile Strength [MPa]	2,800



Gambar 2.4 Contoh Pemasangan NSM

2.3.2. Glass

Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) adalah serat halus dari kaca. Jenis kekuatan GFRP memiliki kekuatan yang lebih rendah dari serat karbon dan kurang kaku. Bahannya sangat

ringan tetapi juga lebih rapuh. Dalam pemasangannya menggunakan perekat epoxy resin sama dengan CFRP seperti pada gambar 2.5.. Selain dipakai untuk perkuatan balok, kolom, dan struktur lainnya, GFRP juga dapat digunakan untuk interior maupun eksterior ruangan karena GFRP adalah bahan yang tahan akan segala jenis cuaca.



Gambar 2.5 Glass Fiber Reinforced Polymer

2.3.3. Aramid

Serat Aramid juga dikenal sebagai serat kaveler adalah serat yang juga memiliki kekuatan tinggi, kaveler biasa digunakan di dalam jaket anti peluru. Serat Aramid memiliki kekuatan sekitar lima kali lebih kuat dari baja dengan berat yang sama, tahan panas, dan memiliki kuat tarik yang tinggi. Pemasangan *Aramid Fiber Reinforced Polymer* (AFRP) yaitu dengan menempelkan pada permukaan elemen struktur yang membutuhkan perkuatan dengan menggunakan perekat epoxy resin seperti pada gambar 2.6. (Rameshkumar, Kulkarni, 2014)



Gambar 2.6 Aramid Fiber Reinforced Polymer

2.4. Keunggulan dan Kekurangan FRP

2.4.1. Keunggulan FRP

Keunggulan FRP antara lain, FRP tahan terhadap korosi, tidak menghantar listrik jika tidak bersentuhan langsung dengan baja, tahan panas, dan pemasangannya lebih mudah. Selain itu FRP juga memiliki umur yang panjang, sehingga dalam jangka panjang perkuatan struktur dengan menggunakan FRP akan terjaga kualitasnya, (Parvin, Brighton, 2014).

2.4.2. Kekurangan FRP

Kekurangan FRP adalah dalam hal biaya, karena FRP masih jarang di produksi di Indonesia. Sehingga untuk mendapatkan FRP dengan kualitas tinggi masih harus mendatangkan dari luar negeri dimana biaya yang diperlukan juga lebih mahal. (Sudjati, Tarigan, Tresna, 2015).

2.5. Peraturan yang Digunakan

Gedung ini dihitung kebutuhan perkuatannya karena pada tahap awal pembangunan, design gedung masih dihitung menggunakan peraturan lama. Untuk itu pada tugas akhir ini kebutuhan struktur gedung dihitung ulang dengan menggunakan peraturan baru. Peraturan lama dan peraturan baru yang akan digunakan dapat dilihat pada tabel 2.3 berikut :

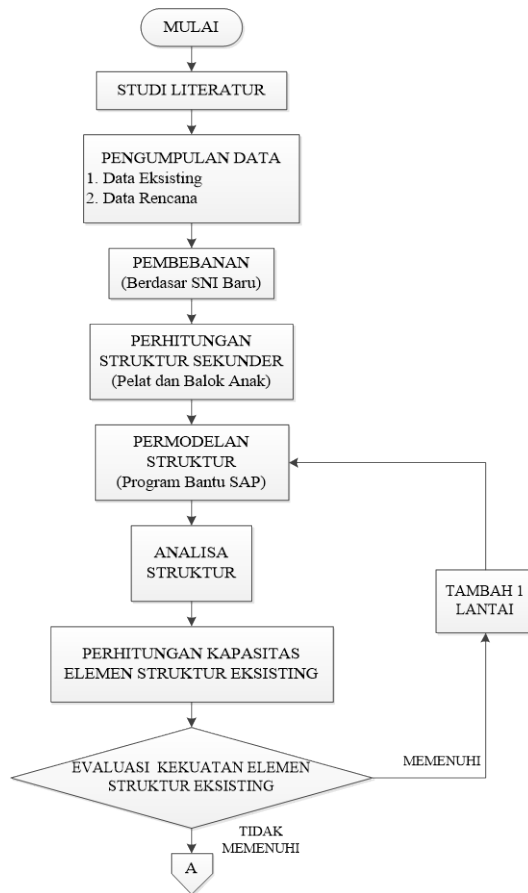
Tabel 2.2. Perubahan Peraturan

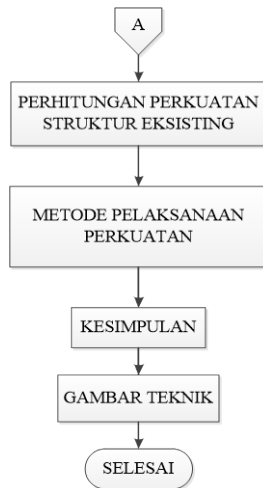
No	Peraturan Lama	Peraturan Baru
1	SNI 1726-2002	SNI 1726-2012
2	SNI 2847-2002	SNI 2847-2013
3	PPIUG 1987	SNI 1727-2013

BAB III METODOLOGI

3.1. Bagan Alir Metodologi

Bagan Alir Metodologi pengerjaan tugas akhir ini dapat dilihat pada gambar 3.1 :





Gambar 3.1 Bagan Alir Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir

3.2. Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir

3.2.1. Studi Literatur

Peraturan-peraturan yang akan dipakai sebagai acuan dalam perencanaan ini antara lain:

1. PPIUG 1987 Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung.
2. SNI 1727-2013 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain
3. SNI 03-2847-2013 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung.
4. SNI 03-1726-2012 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
5. ACI 440.2R-08 Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures.

3.2.2. Pengumpulan Data

a. Data Eksisting

Data tersebut berupa gambar arsitek 4 lantai dan gambar struktur 4 lantai. Gambar arsitek berupa gambar denah per lantai, gambar tampak dan gambar potongan. Gambar struktur berupa gambar denah kolom dan denah pembalokan tiap lantai. Data-data eksisting gedung adalah sebagai berikut:

- Data Umum Bangunan

Nama Bangunan : Gedung Laboratorium C- Dast dan Ruang Kuliah Bersama Universitas Jember

Tipe bangunan : Laboratorium dan Ruang Kuliah

Jumlah lantai : 4 Lantai (fl. to fl. 4m)

Lebar Bangunan : ± 12 meter

Panjang Bangunan : $\pm 59,85$ meter

Tinggi Bangunan : ± 12 meter

Lokasi Gedung : Jember

- Data Bahan

Kuat Tekan Beton ($f'c$) : 30 Mpa (pelat)

Kuat Tekan Beton ($f'c$) : 35 Mpa (balok, kolom)

Tegangan Leleh Baja (f_y) : 400 Mpa

- Gambar arsitek samapi dengan lantai 4 terlampir

- Gambar struktur sampai dengan lantai 4 terlampir

b. Data Perencanaan

Data tersebut berupa gambar arsitek dan gambar struktur gedung dengan tambahan lantai. Data perencanaan juga termasuk data mutu CFRP yang akan digunakan. Gambar arsitek berupa gambar denah per lantai, gambar tampak dan gambar potongan. Gambar struktur berupa gambar denah kolom dan denah pembalokan tiap lantai. Data-data yang akan dipakai dalam perencanaan ini adalah sebagai berikut:

- **Data Umum Bangunan**
 - Nama Bangunan : Gedung Laboratorium C- Dast dan Ruang Kuliah Bersama Universitas Jember
 - Tipe bangunan : Laboratorium dan Ruang Kuliah
 - Jumlah lantai : 8 Lantai (fl. to fl. 4m)
 - Lebar Bangunan : ± 12 meter
 - Panjang Bangunan : $\pm 59,85$ meter
 - Tinggi Bangunan : ± 28 meter
 - Lokasi Gedung : Jember
- **Data Bahan**
 - Kuat Tekan Beton (f'_c) : 30 Mpa (pelat)
 - Kuat Tekan Beton (f'_c) : 35 Mpa (balok, kolom)
 - Tegangan Leleh Baja (f_y) : 400 Mpa
- Gambar arsitek samapi dengan lantai 4 terlampir
- Gambar struktur sampai dengan lantai 4 terlampir
- Data spesifikasi CFRP yang akan digunakan terlampir

3.2.3. Pembebanan Struktur

Pembebanan yang bekerja pada struktur ini terdiri dari beban gravitasi yang terdiri dari beban hidup dan beban mati, serta beban gempa.

- **Beban Mati**

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafond, tangga, dinding partisi, komponen arsitektural lainnya yang terpasang pada gedung.

- a. **Beban Mati Struktural**

Beban mati struktural merupakan berat sendiri bangunan yang memiliki fungsi struktural untuk menahan beban. Beban mati struktural yang diperhitungkan adalah beban struktur beton bertulang, yaitu sebesar 2400 kg/m^3 .

b. Beban Mati Tambahan atau *SIDL*

Beban mati tambahan merupakan berat elemen nonstruktural yang secara permanen membebani struktur yang diatur dalam tabel 2.1 PPIUG 1987

- **Beban Hidup**

Beban hidup lantai yang bekerja dalam struktur ini berupa beban terbagi rata sesuai fungsi ruangnya, yang diatur dalam SNI 1727-2013.

- **Beban Gempa**

Peninjauan beban gempa pada perencanaan struktur bangunan ini ditinjau secara analisa dinamis 3 dimensi. Fungsi *response spectrum* ditetapkan sesuai peta wilayah gempa untuk daerah Surabaya–Jawa Timur. Berdasarkan SNI 1726-2012, zonasi peta gempa menggunakan peta gempa untuk probabilitas 2% terlampaui dalam 50 tahun atau memiliki periode ulang 2500 tahun.

Untuk wilayah gempa berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 14, ditetapkan berdasarkan parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek 0.2 detik) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik).

Tabel 3.7 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III
<p>Jenis pemanfaatan</p> <p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

(SNI 1726:2012 Tabel 1)

Tabel 3.8 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(SNI 1726:2012 Tabel 2)

Respons spektral merupakan konsep pendekatan yang digunakan untuk keperluan perencanaan bangunan tahan gempa. Respons spektral menggambarkan respon maksimum dari suatu sistem *Single Degree of Freedom* (SDOF) baik berupa percepatan (a), kecepatan (v) maupun perpindahan (d) untuk periode natural tertentu akibat beban gempa. Absis dari respons spektral adalah periode alami sistem struktur dan ordinat dari respons spektral adalah respon maksimum yang dikehendaki. Absis dan ordinat kurva respons spektral dapat dinyatakan dalam spektra perpindahan (S_d) dan spektra percepatan (S_a).

Data-data yang dibutuhkan dan prosedur untuk pembuatan respons spektral berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 6.4 adalah :

Parameter percepatan batuan dasar

Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0.2 detik dan 1 detik dalam peta gempa untuk periode ulang 2500 tahun.

Parameter kelas situs

Berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs, maka situs harus diklasifikasikan sebagai kelas situs SA, SB, SC, SD, SE, dan, SF berdasarkan pasal 5.3 SNI 1726-2012 dapat dilihat pada Tabel 5.3 bahwa tanah pada struktur yang akan dibangun termasuk dalam kelas situs SD (tanah sedang).

Tabel 3.8. Klasifikasi Situs

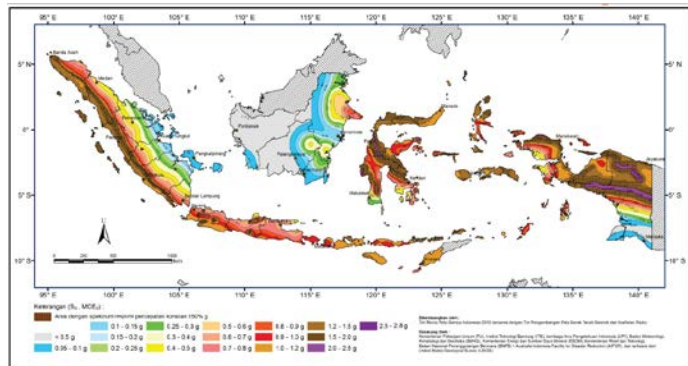
Kelas situs	\bar{V}_s (m/detik)	\bar{V} atau \bar{V}_{sk}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti Pasal 6.9.1)	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40$ persen, dan Kuat geser niralir $s_u < 25$ kPa Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah teresementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah tegu dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $s_u < 50$ kPa		

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

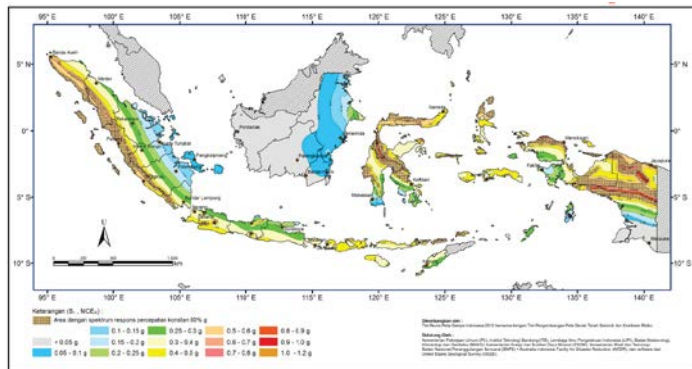
(SNI 1726:2012 Tabel 2)

Koefisien-koefisien situs dan parameter-parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tertarget (MCE_R)

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa (MCE_R) di permukaan tanah diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0.2 detik dan periode 1 detik. Berdasarkan pasal 6.2 SNI 1726-2012, faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dilihat pada tabel 4 pasal 6.2 SNI 1726-2012 dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode pendek 1 detik (F_v) pada tabel 5 pasal 6.2 SNI 1726-2012.



Gambar 3.4. Peta Wilayah Gempa Indonesia yang dipertimbangkan resiko-tertarget (MCE_R-percepatan 0.2 detik, probabilitas 2% dalam 50 tahun)



Gambar 3.5. Peta Wilayah Gempa Indonesia yang dipertimbangkan resiko-tertarget (MCE_R-percepatan 1 detik, probabilitas 2% dalam 50 tahun)

Parameter spektrum respon percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs harus ditentukan dengan perumusan berikut :

$$S_{MS} = F_a \cdot S$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1$$

Dimana :

Ss = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek.

S1 = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1 detik.

Fa = Koefisien situs pada tabel 4 SNI 1726-2012 untuk periode pendek.

Fv = Koefisien situs pada tabel 5 SNI 1726-2012 untuk periode 1 detik

Tabel 3.9. Koefisien Situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				

CATATAN:

(a) Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier

(b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

(SNI 1726:2012 Tabel 4)

Tabel 3.10. Koefisien Situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada periode 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

CATATAN :

(a) Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier

(b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

(SNI 1726:2012 Tabel 5)

Parameter percepatan spektral rencana.

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}) harus ditentukan melalui perumusan berikut ini :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \cdot S_{MS}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \cdot S_{M1}$$

Dimana :

SD_S = Parameter respons spektral percepatan rencana pada periode pendek

SD_1 = Parameter respons spektral percepatan rencana pada periode 1 detik.

Semua parameter respon rencana diplot dalam grafik dan menghasilkan respons spektral rencana.

Prosedur pembuatan respons spektral desain berdasarkan SNI 1726-2012

Untuk nilai T_0 dan T_s , dapat digunakan rumus berikut :

$$T_0 = 0,2 \cdot \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan :

$$S_a = S_{DS} \cdot \left(0,4 + 0,6 \cdot \frac{T}{T_0} \right)$$

Untuk periode yang lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s spectrum respon disain $S_a = S_{DS}$ untuk periode lebih besar dari T_s spectrum respon percepatan disain S_a diambil berdasarkan persamaan :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

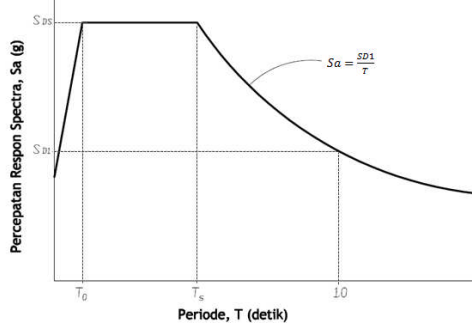
Dimana :

S_{DS} = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek.

S_{D1} = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik.

T = Periode getar fundamental struktur.

Hasil dari perhitungan respons spektrum dapat dilihat pada



Gambar 3.6. Spektrum Respons Desain

Kategori Desain Seismik

Setiap struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik. Kategori desain seismik yang diklasifikasikan oleh SNI 1726-2012 dapat dilihat pada tabel 3.11 dan 3.12

Tabel 3.11. Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

(SNI 1726:2012 Tabel 6)

Tabel 3.12 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda 1 Detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

(SNI 1726:2012 Tabel 7)

Berdasarkan tabel 3.11 dan 3.12, gedung ini memiliki kategori desain seismik D. Berdasarkan Tabel 3.13, didapatkan koefisien:

Sistem Rangka Pemikul Momen

- R = Modifikasi respons
- Cd = Faktor pembesaran defleksi

Tabel 3.13. Sistem Penahan Gaya Gempa

(SNI 1726-2012, Tabel 9)

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_s (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
C.Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5%	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^{5/2}	TI ^h	TI ⁱ
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^h	TI ^h	TI ⁱ
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4%	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2%	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4%	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5%	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2%	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canal dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	3½	3 ^g	3%	10	10	10	10	10

(SNI 1726:2012 Tabel 9)

- **Kombinasi Pembebanan**

Setelah diketahui beban-beban yang bekerja pada elemen struktur maka dalam pendesainan elemen struktur digunakan kombinasi pembebanan untuk mendapatkan pembebanan yang maksimum yang mungkin terjadi pada saat beban bekerja secara individual maupun bersamaan.

Konfigurasi kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726-2012 dapat dilihat sebagai berikut :

- $1.4D$
- $1.2D + 1.6L + 0.5 (Lr \text{ atau } R)$
- $1.2D + 1.6 (Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0.5W)$
- $1.2D + 1.0W + L + 0.5 (Lr \text{ atau } R)$
- $1.2D + 1.0E + L$
- $0.9D + 1.0W$
- $0.9D + 1.0E$

Untuk perencanaan pondasi menggunakan pendekatan *elastic*, dimana *safety factor* ($SF = 3$), konfigurasi kombinasi pembebanan berdasarkan kondisi *working load* :

- D
- $D + L$
- $D + (Lr \text{ atau } R)$
- $D + 0.75L + 0.75 (Lr \text{ atau } R)$
- $D + (0.6W \text{ atau } 0.7E)$
- $D + 0.75 (0.6W \text{ atau } 0.7E) + 0.75L + 0.75 (Lr \text{ atau } R)$
- $0.6D + 0.6W$
- $0.6D + 0.7E$

Dimana :

- D = *Dead Load* (Beban Mati)
- L = *Life Load* (Beban Hidup)
- E = *EarthQuake Load* (Beban Gempa)
- Lr = *Life Roof* (Beban Atap)
- R = *Rainfall Load* (Beban Hujan)
- W = *Wind Load* (Beban Angin)

- **Peninjauan terhadap Pengaruh Gempa**

Simulasi pembebanan terhadap beban gempa ditinjau secara statik maupun dinamis, sedangkan besaran gaya gempa statik ekivalen merujuk pada persamaan pada SNI 1726-2012 :

$$V = C_s \cdot W_t$$

Dimana :

C_s = koefisien respons seismik

W_t = berat total gedung

Penentuan koefisien C_s adalah sebagai berikut :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e} \right)}$$

Dimana :

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang periode pendek

R = faktor modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan gempa

Tetapi nilai C_s tersebut tidak boleh lebih dari nilai pada persamaans berikut :

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)}$$

C_s harus tidak kurang dari :

$$C_s = 0,044 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,01$$

Sebagai tambahan, untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6g , maka C_s harus tidak kurang dari:

$$C_s = \frac{0,5S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Dimana :

S_{D1} = parameter percepatan spektrum respons desain pada
periode sebesar 1,0 detik

T = periode fundamental struktur

S_1 = parameter percepatan spektrum respons maksimum

Pembebanan gempa horizontal dibagi ke dalam dua arah yaitu :

- Gempa arah x dengan komposisi 100% V_x + 30% V_y
- Gempa arah y dengan komposisi 100% V_y + 30% V_x

3.2.4. Permodelan Struktur

Berdasarkan data-data konfigurasi dan jenis elemen struktur yang ada dari masing-masing gedung, maka kemudian dilakukan pemodelan rangka terbuka tiga dimensi dengan menggunakan program bantu ETABS 2013. Kemudian pada tiap model struktur diaplikasikan beban-beban yang bekerja sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya dan tidak lupa mendefinisikan kombinasi pembebanan.

3.2.5. Analisa Struktur

Untuk mempermudah perhitungan, maka dalam tugas akhir ini, analisa struktur dilakukan dengan menggunakan program bantu ETABS 2013. Hal-hal yang diperhatikan dalam analisa struktur ini antara lain :

- Bentuk Gedung
- Dimensi elemen-elemen struktur dari perhitungan preliminary design.
- Pembebanan struktur dan kombinasi pembebanan.

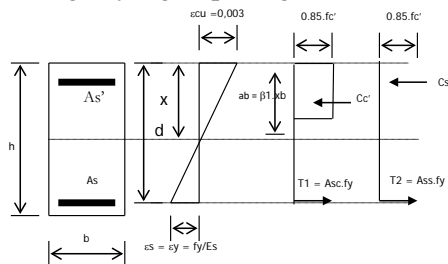
Output dari analisa struktur ini meliputi gaya-gaya dalam seperti gaya momen, gaya lintang, dan gaya normal. Selanjutnya

gaya-gaya dalam tersebut akan digunakan dalam pendetailan struktur, yaitu penulangan struktur.

3.2.6. Perhitungan Kapasitas Elemen Struktur Eksisting

a. Perhitungan Kapasitas Balok

Elemen balok merupakan salah satu elemen yang memikul beban yang terjadi padanya dengan mengandalkan kemampuan kapasitas momennya. Adapun kapasitas momen sangatlah ditentukan oleh luasan baja tulangan yang terpasang.



Gambar 3.8 Kapasitas Penampang Balok Beton Bertulang dengan Tulangan Rangkap

Kemampuan penampang balok beton bisa dihitung berdasarkan :

$$Mn = 0,85.fc'.ab \left(d - \frac{a}{2} \right) + As' fs' (d - d')$$

Sebagai kontrol apakah balok tersebut mampu memikul gaya dalam yang terjadi maka:

$$\phi.Mn > Mu$$

Mu diperoleh dari analisa gaya dalam ETABS

b. Perhitungan Kapasitas Kolom

Elemen kolom, fungsi utamanya adalah terhadap beban aksial yang mana dipikul oleh kebutuhan penampang beton bertulang itu sendiri sedangkan kapasitas momen ditentukan oleh tulangan terpasang. Mengingat

kompleksitasnya, kapasitas penampang dari suatu kolom beton bertulang dapat dihitung dengan menggunakan bantuan program SPCOL 4.5.

3.2.7. Evaluasi Kekuatan Elemen Struktur Awal

Kapasitas penampang elemen struktur eksisting yang telah dihitung tersebut, kemudian dibandingkan dengan gaya-gaya dalam maksimum dari hasil analisa struktur. Apabila kapasitas penampang terpasang lebih besar dari gaya dalam yang terjadi maka dapat dikatakan elemen struktur masih kuat atau “OK”. Apabila didapatkan kalau struktur eksisting masih memenuhi untuk menahan gaya yang terjadi, maka di rencanakan gedung ditambah 1(satu) lantai. Tetapi apabila kapasitas penampang terpasang lebih kecil dari gaya dalam yang terjadi, maka elemen struktur tersebut tidak kuat atau “NOT OK” dan membutuhkan perkuatan.

Perbandingan antara kapasitas penampang dengan gaya dalam maksimum yang terjadi disebut dengan “*Safety Factor / SF*” di mana nilai SF harus lebih besar dari 1 (satu). Kapasitas yang perlu dianalisa adaalah kapasitas akibat lentur, geser dan axial dengan ketentuan seperti yang tertera dalam ACI 440.2R-08.

3.2.8. Perhitungan Perkuatan Struktur Eksisting

Setelah dilakukan evaluasi kekuatan elemen struktur eksisting, maka didapatkan elemen-elemen struktur eksisting yang masih kuat, dan elemen struktur eksisting yang membutuhkan perkuatan. Pada elemen yang masih kuat tidak perlu dilakukan perkuatan. Tetapi pada elemen struktur yang tidak kuat dilakukan perhitungan perkuatan struktur dengan menggunakan CFRP.

Perhitungan kekuatan struktur ada 3(tiga) macam, yaitu perkuatan terhadap lentur (*Flexural Strengthening*), perkuatan terhadap geser (*Shear Strengthening*), dan perkuatan terhadap beban axial (*Axial Force Strengthening*). Secara umum cara mendapatkan jumlah CFRP yang dibutuhkan ialah dengan

menghitung selisih antara kapasitas eksisting dan gaya dalam, kemudian membandingkannya dengan kekuatan CFRP sesuai spek yang digunakan. Detail rumus perhitungan dapat dilihat di ACI 440.2R-08.

3.2.9. Kesimpulan

Membuat kesimpulan akhir dari hasil perhitungan yang sudah dilakukan, sehingga di dapat elemen struktur apa saja yang membutuhkan perkuatan dan perkuatan yang dibutuhkan, serta didapatkan juga kebutuhan struktur untuk lantai 5-8. Kesimpulan di lampirkan dalam bentuk tabel.

3.2.10. Gambar Teknik

Hasil dari kesimpulan perhitungan struktur di atas dituangkan dalam gambar teknik. Sehingga hasil akhir tugas akhir berupa gambar detail perkuatan struktur dan gambar detail penulangan untuk struktur lantai 5-8. Untuk mempermudah dalam penggambaran, maka dalam perencanaan ini akan menggunakan AutoCAD 2014 sebagai program bantu.

“Halaman ini sengaja dikosogkan”

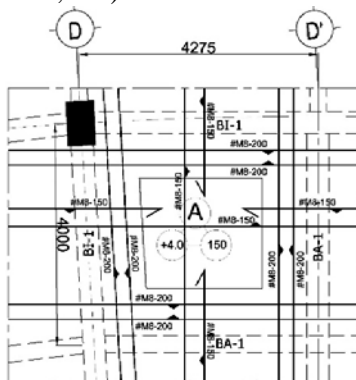
PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan Struktur Sekunder

4.1.1. Pelat Lantai

Beban- beban yang bekerja pada pelat disesuaikan dengan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983). Pelat direncanakan menerima beban mati dan beban hidup dengan kombinasi pembebanan yang sesuai dengan SNI 03-2847-2012 pasal 9.2.1 yaitu : 1,2 DL + 1,6 LL.

Digunakan contoh perhitungan pada tipe pelat C Lantai 2 elevasi +4,00 as (D-E ; 1-2)



Gambar 4.1 Pelat Tipe A

a. Perhitungan Rasio Lebar Pelat

$$\begin{aligned} \text{Ly} &= 427,5\text{cm} - (\text{BI1} + \text{BI1}) \\ &= 427,5\text{cm} - (40\text{cm} + 40\text{cm}) \\ &= 419,5\text{cm} \\ \text{Lx} &= 400\text{cm} - (\text{BI1} + \text{BI1}) \\ &= 400\text{cm} - (40\text{cm} + 40\text{cm}) \\ &= 320\text{cm} \\ \text{Ly/Lx} &= 419,5\text{cm} / 320\text{cm} \\ &= 1,31 < 2,00 \end{aligned}$$

Maka Pelat Tipe A termasuk pelat dua arah.

$M_{lx} \text{ \& } M_{tx} \rightarrow X=50$

$M_{ly} \text{ \& } M_{ty} \rightarrow X=38$

b. Pembebanan Pelat

- Beban Mati

$$\text{Berat pelat } 12\text{cm} = 0,15\text{m} \cdot 2400\text{kg/m}^3 = 360 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat spesi (1 cm)} = 1 \cdot 21 \text{ kg/m}^2 = 21 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat keramik (1 cm)} = 1 \cdot 24 \text{ kg/m}^2 = 24 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat plafond} = 11 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat penggantung} = 7 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Pemipaan air bersih/kotor} = 25 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Instalasi listrik} = 40 \text{ kg/m}^2 +$$

$$\text{DL} = 488 \text{ kg/m}^2$$

- Beban Hidup

$$\text{Berat hidup lantai ruang kelas (LL)} = 200 \text{ kg/m}^2$$

- Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 11.1.1

$$q_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

$$= (1,2 \times 488) + (1,6 \times 200)$$

$$= 905,6 \text{ kg/m}^2$$

c. Momen yang terjadi

$$M_{lx}=M_{tx} = 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$$

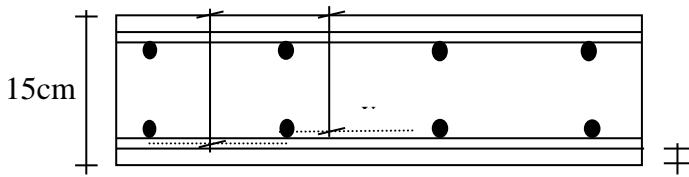
$$= 0,001 \cdot 905,6 \text{ kg/m}^2 \cdot (3,2\text{m})^2 \cdot 50$$

$$= 463,67 \text{ kgm}$$

$$M_{ly}=M_{ty} = 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$$

$$= 0,001 \cdot 905,66 \text{ kg/m}^2 \cdot (3,2\text{m})^2 \cdot 38$$

$$= 352,41 \text{ kgm}$$



$$\begin{aligned}
 dx &= 15\text{cm} - 3\text{cm} - (1/2 \cdot d) \\
 &= 15\text{cm} - 3\text{cm} - (1/2 \cdot 0,8\text{cm}) \\
 &= 11,6\text{cm} \\
 dy &= 15\text{cm} - 3\text{cm} - d - (1/2 \cdot d) \\
 &= 15\text{cm} - 3\text{cm} - 0,8\text{cm} - (1/2 \cdot 0,8\text{cm}) \\
 &= 10,8\text{cm}
 \end{aligned}$$

d. Penulangan arah Y

$\Phi = 0,9$ diasumsikan dahulu

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b \times dx^2} = \frac{3542100}{0,9 \times 1000 \times 108^2} = 0,337 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ perlu} &= \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 30}{240} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,337}{0,85 \times 30}} \right) \\
 &= 0,0014
 \end{aligned}$$

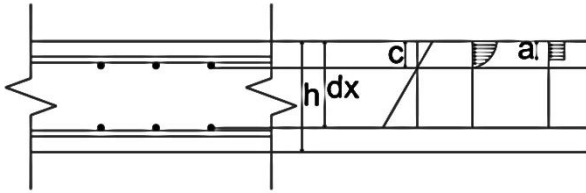
	$\rho \text{ min} = 0,002$	
Syarat :	$\rho \text{ min}$	$= \rho \text{ perlu}$
	$0,002$	$> 0,0014$

Maka, dipakai $\rho = 0,002$

- Luas Tulangan

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ perlu} &= \rho \times 1000 \times dx \\
 &= 0,002 \times 1000 \times 108\text{mm} \\
 &= 216\text{mm}^2
 \end{aligned}$$

Cek nilai ϕ



$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{216 \times 240}{0,85 \times 30 \times 1000} = 2,03 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,85 - (0,05 \times (f'_c - 28) / 7) \\ &= 0,85 - (0,05 \times (30 - 28) / 7) = 0,84 \end{aligned}$$

$$C = \frac{a}{\beta_1} = \frac{2,03}{0,84} = 2,42 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t = \frac{d - c}{c} \times 0,003 = \frac{108 - 2,42}{2,42} \times 0,003 = 0,13 > 0,005$$

Jadi, faktor reduksi $\phi = 0,90$ dapat digunakan
syarat jarak maksimum

$$\begin{aligned} 2h &= 2 \times 150 \text{ mm} \\ &= 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai tulangan $\emptyset 8 \text{ mm}$, sehingga jarak antar tulangan

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s\text{perlu}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (8 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{216 \text{ mm}^2} \\ &= 232,71 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 232,71 \text{ mm}$$

Tulangan terpasang $\emptyset 8 - 150 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} A_{s\text{pakai}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (8 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{150 \text{ mm}^2} \\ &= 335,1 \text{ mm}^2 > A_{s\text{perlu}} = 216 \text{ mm}^2 \text{ (aman)} \end{aligned}$$

e. Penulangan arah X

$\Phi = 0,9$ diasumsikan dahulu

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b \times d y^2} = \frac{4636700}{0,9 \times 1000 \times 116^2} = 0,38 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho \text{ perlu} &= \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 30}{240} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,38}{0,85 \times 30}} \right) \\ &= 0,0016 \end{aligned}$$

$$\rho \text{ min} = 0,002$$

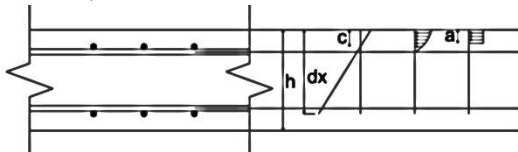
$$\text{Syarat : } \begin{array}{l} \rho \text{ min} = \rho \text{ perlu} \\ 0,002 > 0,0016 \end{array}$$

Maka, dipakai $\rho = 0,002$

- Luas Tulangan

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho \times 1000 \times dx \\ &= 0,002 \times 1000 \times 116 \text{ mm} \\ &= 232 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek nilai ϕ



$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{232 \times 240}{0,85 \cdot 30 \cdot 1000} = 2,184$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,85 - (0,05 \times (f_c' - 28) / 7) \\ &= 0,85 - (0,05 \times (30 - 28) / 7) = 0,84 \end{aligned}$$

$$C = \frac{a}{\beta_1} = \frac{2,184}{0,84} = 2,6$$

$$\epsilon_t = \frac{d - c}{c} 0,003 = \frac{116 - 2,6}{2,6} 0,003 = 0,13 > 0,005$$

Jadi, faktor reduksi $\phi=0,90$ dapat digunakan
syarat jarak maksimum

$$\begin{aligned} 2h &= 2 \times 150 \text{ mm} \\ &= 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai tulangan $\emptyset 8\text{mm}$, sehingga jarak antar tulangan

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s_{\text{perlu}}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (8 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{232 \text{ mm}^2} \\ &= 216,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tulangan terpasang $\emptyset 8 - 150 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (8 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{150 \text{ mm}^2} \\ &= 335,1 \text{ mm}^2 > A_{s_{\text{perlu}}} = 232 \text{ mm}^2 \text{ (aman)} \end{aligned}$$

4.1.2. Perhitungan Balok Anak

Perencanaan balok anak disesuaikan dengan beban beban yang bekerja menurut PPIUG 1983. Balok anak merupakan system struktur sekunder yang direncanakan menerima beban mati dan beban hidup dengan kombinasi pembebanan yang sesuai dengan SNI 03-2847-2012 pasal 9.2.1 yaitu : 1,2 DL + 1,6 LL.

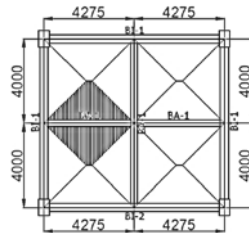


Gambar 4.2 Denah Pembalokan Lantai 2

4.1.2.1. Perhitungan Balok Anak Type 1

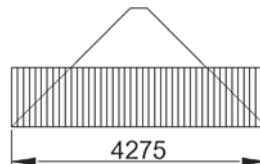
Pembebanan yang terjadi pada balok adalah beban sendiri balok dan beban pada pelat yang selanjutnya menyalur pada balok. Untuk menghitung beban pelat yang diterima oleh balok dilakukan dengan cara pendekatan *tributary area*.

Dilakukan contoh perhitungan pembebanan balok anak BA1(300x600) pada elevasi 4.00



Gambar 4.3 Tributary Area Balok Anak 1

- Pembebanan pada pelat sesuai perhitungan pembebanan pada pelat lantai 4.1.3 Sebesar $q_{\text{pelat}} = 905,6 \text{ kg/m}^2$ diubah menjadi beban merata sepanjang balok



Gambar 4.4 Distribusi Beban Merata Balok Anak 1

$$\begin{aligned}
 q_{\text{ekw}} &= \frac{1}{6} \times q_u \times l_x \times \left\{ 3 - \left(\frac{l_x}{l_y} \right)^2 \right\} \\
 &= \frac{1}{6} \times 905,6 \times 4 \times \left\{ 3 - \left(\frac{4}{4,275} \right)^2 \right\} \\
 &= 1923,96 \text{ kg/m} \\
 2 q_{\text{ekw}} &= 2 \times 1923,96 \text{ kg/m} \\
 &= 3847,92 \text{ kg/m} \\
 q_{\text{dbalok}} &= \text{berat jenis balok} \times \text{luas penampang} \\
 &= 2400 \text{ kg/m}^3 \times (0,3\text{m} \times 0,6\text{m}) \\
 &= 432 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Untuk beban ultimate karena beban pelat sudah beban ultimate jadi faktor hanya dikali pada berat sendiri balok = $1,2 \times 432 \text{ kg/m} = 518,4 \text{ kg/m}$.

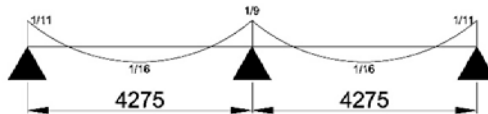
Jadi beban ultimate seluruhnya adalah :

Beban pada pelat + berat sendiri balok

$$Q_u = 3847,92 + 518,4 \text{ kg/m} = 4366,32 \text{ kg/m}$$

a. Perhitungan Momen Balok Anak

Gaya yang terjadi pada balok merupakan gaya yang dapat menahan tegangan lentur hanya dalam satu arah, sesuai dengan SNI 03-2847-2012 pasal 8.3.3



Gambar 4.4 Momen Balok Anak yang terjadi

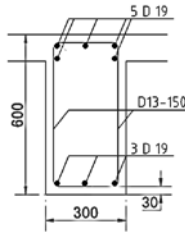
$$\begin{aligned} \text{Momen t. kiri} &= -1/24 \cdot q \cdot l^2 \\ &= 1/24 \cdot 4366,32 \text{ kg/m} \cdot (4,275 \text{ m})^2 \\ &= 3324,88 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen t. kanan} &= -1/9 \cdot q \cdot l^2 \\ &= 1/9 \cdot 4366,32 \text{ kg/m} \cdot (4,275 \text{ m})^2 \\ &= 8866,36 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen lapangan} &= +1/11 \cdot q \cdot l^2 \\ &= 1/11 \cdot 4366,32 \text{ kg/m} \cdot (4,275 \text{ m})^2 \\ &= 7254,29 \text{ kgm} \end{aligned}$$

b. Perhitungan Tulangan Lentur

- Penulangan Lentur Daerah Tumpuan Kiri



$$\begin{aligned}
 d &= h - (\text{selimut beton} + \text{tul. sengkang} + \frac{1}{2} \text{ tul. lentur}) \\
 &= 600 \text{ mm} - (30 \text{ mm} + 13 \text{ mm} + (\frac{1}{2} \cdot 19 \text{ mm})) \\
 &= 547,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dicoba menggunakan factor $\phi = 0,9$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{Mu}{\phi b \times d^2} \\
 &= \frac{33248800}{0,9 \times 300 \text{ mm} \times (547,5 \text{ mm})^2} \\
 &= 0,41 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ perlu} &= \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 35}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,41}{0,85 \times 35}} \right) \\
 &= 0,0011
 \end{aligned}$$

Pembatasan nilai ρ

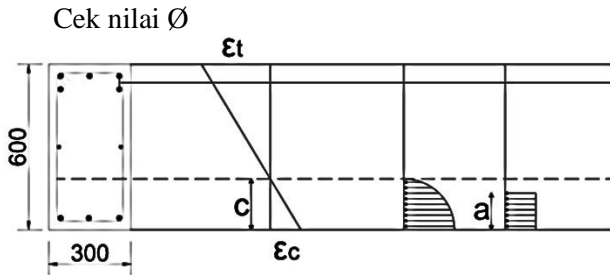
$$\begin{aligned}
 \rho \text{ min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ MPa}} \\
 &= 0,0035
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat : } \rho \text{ min} &> \rho \text{ perlu} \\
 0,0035 &> 0,0011
 \end{aligned}$$

$$\text{Jadi : dipakai } \rho = 0,0035$$

- Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ perlu} &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0035 \times 300 \times 547,5 \text{ mm} \\
 &= 574,875 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$



$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f_c \times b} = \frac{574,875 \times 400}{0,85 \times 35 \times 300} = 25,76 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - (0,05 \times (f_c' - 28) / 7)$$

$$= 0,85 - (0,05 \times (35 - 28) / 7) = 0,80$$

$$C = \frac{a}{\beta_1} = \frac{25,76}{0,80} = 32,2 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t = \frac{d - c}{c} 0,003 = \frac{547,5 - 32,2}{32,2} 0,003$$

$$= 0,048 > 0,005$$

Jadi, faktor reduksi $\phi = 0,90$ dapat digunakan menentukan jumlah tulangan

$$A_s \text{ Lentur} = 0,25 \times \pi \times d^2$$

$$= 0,25 \times \pi \times (19 \text{ mm})^2$$

$$= 283,53 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_s \text{ Perlu}}{A_s \text{ Lentur}}$$

$$= \frac{574,875 \text{ mm}^2}{283,53 \text{ mm}^2} = 2,027 \approx 3 \text{ buah}$$

Tulangan terpasang 5D19

$$(A_s = 1417,64 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 574,875 \text{ mm}^2) \Rightarrow \text{OK.}$$

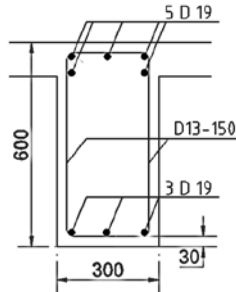
- Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI 2847-2013 pasal 21.5.2.2, tulangan lentur tekan dipakai sebesar $\frac{1}{2}$ dari tulangan lentur tarik.

$$A_s' = 0,5 \times A_s$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,5 \times 1417,64 \text{ mm}^2 \\
 &= 708,82 \text{ mm}^2 \\
 &\text{Tulangan terpasang 3D19} \\
 &(\text{As}=850,59 \text{ mm}^2 > \text{As}'=708,82 \text{ mm}^2) \Rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

- Penulangan Lentur Daerah Tumpuan Kanan



$$\begin{aligned}
 d &= h - (\text{selimut beton} + \text{tul.sengkan} + \frac{1}{2} \text{ tul.lentur}) \\
 &= 600 \text{ mm} - (30 \text{ mm} + 13 \text{ mm} + (\frac{1}{2} \cdot 19 \text{ mm})) \\
 &= 547,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dicoba menggunakan factor $\phi = 0,9$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{Mu}{\phi b \times d^2} \\
 &= \frac{88663600}{0,9 \times 300 \text{ mm} \times (547,5 \text{ mm})^2} \\
 &= 1,09 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho \text{ perlu} &= \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 35}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,09}{0,85 \times 35}} \right) \\
 &= 0,0028
 \end{aligned}$$

Pembatasan nilai ρ

$$\rho \text{ min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ MPa}} = 0,0035$$

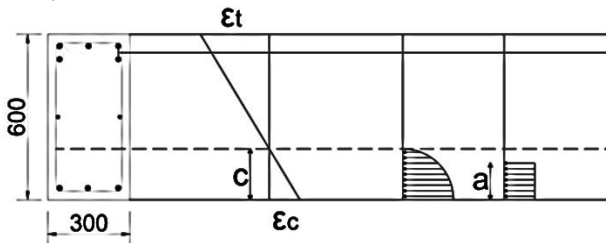
Syarat : $\rho \text{ min} > \rho \text{ perlu}$

$$\text{Jadi dipakai : } \rho = 0,0035 > 0,0028$$

- Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0035 \times 300 \times 547,5 \text{ mm} \\ &= 574,875 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek nilai ϕ



$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 f_c \times b} = \frac{574,875 \times 400}{0,85 \times 35 \times 300} = 25,76 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,85 - (0,05 \times (f_c' - 28) / 7) \\ &= 0,85 - (0,05 \times (35 - 28) / 7) = 0,80 \end{aligned}$$

$$C = \frac{a}{\beta_1} = \frac{25,76}{0,80} = 32,2 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t = \frac{d - c}{c} 0,003 = \frac{547,5 - 32,2}{32,2} 0,003 = 0,048 > 0,005$$

Jadi, faktor reduksi $\phi = 0,90$ dapat digunakan

Menentukan jumlah tulangan

$$\begin{aligned} \text{As Lentur} &= 0,25 \times \pi \times d^2 \\ &= 0,25 \times \pi \times (19 \text{ mm})^2 \\ &= 283,53 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{As \text{ Perlu}}{As \text{ Lentur}} \\ &= \frac{574,875 \text{ mm}^2}{283,53 \text{ mm}^2} = 2,027 \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

Tulangan terpasang 5D19

$$(A_s = 1417,64 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 574,875 \text{ mm}^2) \Rightarrow \text{OK.}$$

- Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI 2847-2013 pasal 21.5.2.2, tulangan lentur tekan dipakai sebesar $\frac{1}{2}$ dari tulangan lentur tarik.

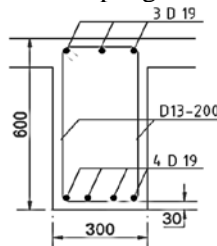
$$A_s' = 0,5 \times A_s$$

$$= 0,5 \times 1417,64 \text{ mm}^2 = 708,82 \text{ mm}^2$$

Tulangan terpasang 3D19

$$(A_s = 850,59 \text{ mm}^2 > A_s' = 708,82 \text{ mm}^2) \Rightarrow \text{OK}$$

- Penulangan Lentur Daerah Lapangan



$$\begin{aligned} d &= h - (\text{selimut beton} + \text{tul. sengkang} + \frac{1}{2} \text{ tul. lentur}) \\ &= 600 \text{ mm} - (30 \text{ mm} + 13 \text{ mm} + (\frac{1}{2} \cdot 19 \text{ mm})) \\ &= 547,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dicoba menggunakan factor $\phi = 0,9$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{\phi b \times d^2} \\ &= \frac{72542900}{0,9 \times 300 \text{ mm} \times (547,5 \text{ mm})^2} \\ &= 0,89 \text{ N/mm}^2 \\ \rho \text{ perlu} &= \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 35}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,89}{0,85 \times 35}} \right) \\ &= 0,0023 \end{aligned}$$

Pembatasan nilai ρ

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ MPa}} = 0,0035$$

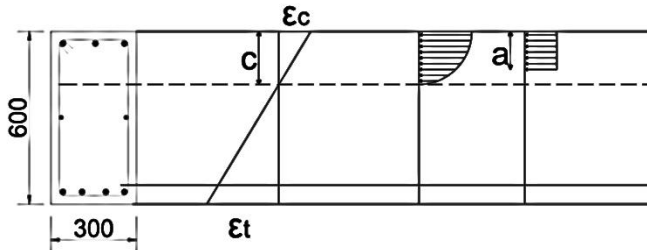
$$\text{Syarat : } \rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}} \\ 0,0035 > 0,0023$$

$$\text{Jadi : dipakai } \rho = 0,0035$$

- Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0035 \times 300 \times 547,5 \text{ mm} \\ &= 574,875 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek nilai \emptyset



$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f_c \times b} = \frac{574,875 \times 400}{0,85 \times 35 \times 300} = 25,76 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,85 - (0,05 \times (f_c' - 28) / 7) \\ &= 0,85 - (0,05 \times (35 - 28) / 7) = 0,80 \end{aligned}$$

$$C = \frac{a}{\beta_1} = \frac{25,76}{0,80} = 32,2 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{d - c}{c} \times 0,003 = \frac{547,5 - 32,2}{32,2} \times 0,003 \\ &= 0,048 > 0,005 \end{aligned}$$

Jadi, faktor reduksi $\phi = 0,90$ dapat digunakan

Menentukan jumlah tulangan

$$\begin{aligned} \text{As Lentur} &= 0,25 \times \pi \times d^2 \\ &= 0,25 \times \pi \times (19 \text{ mm})^2 \\ &= 283,53 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{As \text{ Perlu}}{As \text{ Lentur}} = \frac{574,875 \text{ mm}^2}{283,53 \text{ mm}^2} = 2,027 \approx 3 \text{ buah}$$

Tulangan terpasang 4D19 => OK.

(As=1134,12mm² > As perlu=574,87mm²) => OK.

- Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI 2847-2013 pasal 21.5.2.2, tulangan lentur tekan dipakai sebesar ½ dari tulangan lentur tarik.

$$As' = 0,5 \times As$$

$$= 0,5 \times 1134,12 \text{ mm}^2 = 567,06 \text{ mm}^2$$

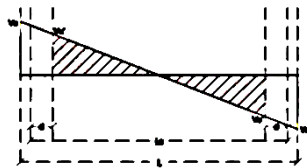
Tulangan terpasang 3D19

(As=850,59mm² > As'=567,06mm²) => OK

c. Perhitungan Tulangan Geser

Vu pada jarak d(0,8h) dari tumpuan adalah sebesar :

$$\begin{aligned} Vu &= Qu \left(\frac{1}{2} L - d \right) \\ &= 4366,32 \text{ kgm} \left(\frac{1}{2} 4,275 \text{ m} - 0,048 \text{ m} \right) \\ &= 9123,426 \text{ Kg} = 91234,26 \text{ N} \end{aligned}$$



Gambar 4.5 Geser Pada Balok Anak

$$\lambda = 1 \text{ untuk beton normal}$$

$$Vc = 0,17 \lambda \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$$

$$= (1/6) \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \cdot 300 \cdot 480$$

$$= 141985,91 \text{ N}$$

$$0,5 \cdot \emptyset Vc = 0,5 \cdot 0,75 \cdot (1/6) \cdot \sqrt{f'c} \cdot bw \cdot d$$

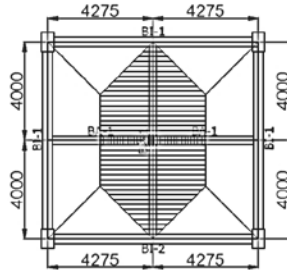
$$\begin{aligned}
 &= 0,5 \cdot 0,75 \cdot (1/6) \cdot \sqrt{35} \cdot 300 \cdot 480 \\
 &= 53244,72 \text{ N} \\
 \emptyset \cdot V_c &= 0,75 \cdot (1/6) \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \\
 &= 0,75 \cdot (1/6) \cdot \sqrt{35} \cdot 300 \cdot 480 \\
 &= 106489,44 \text{ N} \\
 0,5 \cdot \emptyset V_c &< V_u < \emptyset \cdot V_c \\
 53244,72 \text{ N} &< 91234,26 \text{ N} < 106489,44 \text{ N} \rightarrow \text{Kondisi 2} \\
 &\text{Digunakan tulangan geser minimum} \\
 S_2 &= \frac{d}{2} \leq 600 \\
 &= \frac{538}{2} \leq 600 \\
 &= 269 \text{ mm} \leq 600 \\
 A_v &= \frac{1}{4} \cdot \pi \phi^2 \\
 &= \frac{1}{4} \cdot \pi 13^2 \\
 &= 132,73 \text{ mm}^2 \\
 S_3 &= \frac{A_v \times f_{yt}}{0,35 \cdot b_w} \\
 &= \frac{132,73 \times 240}{0,35 \cdot 300} \\
 &= 303,38 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tulangan terpasang D13-150 \rightarrow OK.

4.1.2.2. Perhitungan Balok Anak Type 2

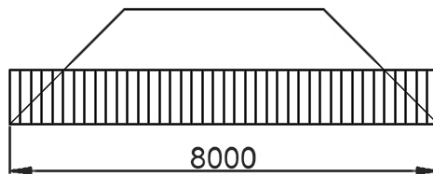
Pembebanan yang terjadi pada balok adalah beban sendiri balok dan beban pada pelat yang selanjutnya menyalur pada balok. Untuk menghitung beban pelat yang diterima oleh balok dilakukan dengan cara pendekatan *tributary area*.

Dilakukan contoh perhitungan pembebanan balok anak BA1 pada elevasi 4.00 As (B',4-3)



Gambar 4.6 Triburty Area Balok Anak 1

- Pembebanan pada pelat sesuai perhitungan pembebanan pada pelat lantai 4.1.3 Sebesar $q_{\text{pelat}} = 905,6 \text{ kg/m}^2$ diubah menjadi beban merata sepanjang balok



Gambar 4.7 Distribusi Beban Merata Balok Anak 1

$$\begin{aligned}
 q_{\text{ekw}} &= \frac{1}{6} \times q_u \times l_x \times \left\{ 3 - \left(\frac{l_x}{l_y} \right)^2 \right\} \\
 &= \frac{1}{6} \times 905,6 \times 4,275 \left\{ 3 - \left(\frac{4,275}{8} \right)^2 \right\} \\
 &= 1751,47 \text{ kg/m} \\
 2 q_{\text{ekw}} &= 2 \times 1751,47 \text{ kg/m} \\
 &= 3502,94 \text{ kg/m} \\
 q_{\text{dbalok}} &= \text{berat jenis balok} \times \text{luas penampang} \\
 &= 2400 \text{ kg/m}^3 \times (0,3\text{m} \times 0,6\text{m}) \\
 &= 432 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Untuk beban ultimate karena beban pelat sudah beban ultimate jadi faktor hanya dikali pada berat sendiri balok = $1,2 \times 432 \text{ kg/m} = 518,4 \text{ kg/m}$.

Jadi beban ultimate seluruhnya adalah :
Beban pada pelat + berat sendiri balok

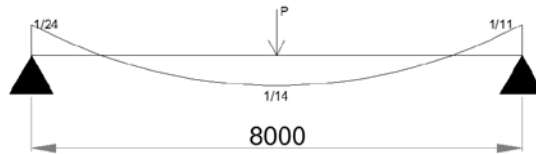
$$Q_u = 3502,94 + 518,4 \text{ kg/m} = 4021,34 \text{ kg/m}$$

Balok anak juga menerima beban terpusat yaitu beban $\frac{1}{2}$ bentang dari 2 balok anak yang menumpu pada balok tersebut.

$$\begin{aligned} P &= \text{berat jenis balok} \times \text{volume balok} \\ &= 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0,3\text{m} \times 0,6\text{m} \times 4,275\text{m} \\ &= 1846,8 \text{ kg} \end{aligned}$$

a. Perhitungan Momen Balok Anak

Gaya yang terjadi pada balok merupakan gaya yang dapat menahan tegangan lentur hanya dalam satu arah, sesuai dengan SNI 03-2847-2012 pasal 8.3.3

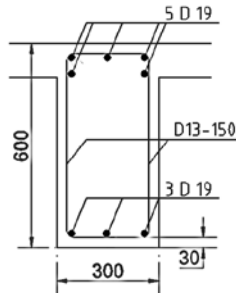


Gambar 4.4 Momen Balok Anak yang terjadi

$$\begin{aligned} \text{Momen t. kiri} &= -1/24 \cdot q \cdot l^2 \\ &= 1/24 \cdot 4021,34 \text{ kg/m} \cdot (8\text{m})^2 \\ &= 10723,57 \text{ kgm} \\ \text{Momen t. kanan} &= -1/11 \cdot q \cdot l^2 \\ &= 1/11 \cdot 4021,34 \text{ kg/m} \cdot (8\text{m})^2 \\ &= 23396,89 \text{ kgm} \\ \text{Momen lapangan} &= +1/14 \cdot q \cdot l^2 + \frac{1}{4} P \cdot l \\ &= 1/14 \cdot 4021,34 \text{ kg/m} \cdot (8\text{m})^2 + \frac{1}{4} \cdot 1846,8\text{kg} \cdot 4,275\text{m} \\ &= 20357,04 \text{ kgm} \end{aligned}$$

b. Perhitungan Tulangan Lentur

- Penulangan Lentur Daerah Tumpuan Kiri



$$\begin{aligned}
 d &= h - (\text{selimut beton} + \text{tul. sengkang} + \frac{1}{2} \text{ tul. lentur}) \\
 &= 600 \text{ mm} - (30 \text{ mm} + 13 \text{ mm} + (\frac{1}{2} \cdot 19 \text{ mm})) \\
 &= 547,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dicoba menggunakan factor $\phi = 0,9$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{Mu}{\phi b \times d^2} \\
 &= \frac{107235700}{0,9 \times 300 \text{ mm} \times (547,5 \text{ mm})^2} \\
 &= 1,32 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ perlu} &= \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 35}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,32}{0,85 \times 35}} \right) \\
 &= 0,0034
 \end{aligned}$$

Pembatasan nilai ρ

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ MPa}} \\
 &= 0,0035
 \end{aligned}$$

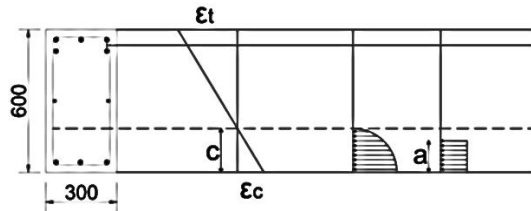
$$\begin{array}{lcl}
 \text{Syarat :} & \rho \text{ min} & > \rho \text{ perlu} \\
 & 0,0035 & > 0,0034
 \end{array}$$

$$\text{Jadi : dipakai } \rho = 0,0035$$

- Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0035 \times 300 \times 547,5 \text{ mm} \\ &= 574,875 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek nilai ϕ



$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f_c \times b} = \frac{574,875 \times 400}{0,85 \times 35 \times 300} = 25,76 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,85 - (0,05 \times (f_c' - 28) / 7) \\ &= 0,85 - (0,05 \times (35 - 28) / 7) = 0,80 \end{aligned}$$

$$C = \frac{a}{\beta_1} = \frac{25,76}{0,80} = 32,2 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{d - c}{c} 0,003 = \frac{547,5 - 32,2}{32,2} 0,003 \\ &= 0,048 > 0,005 \end{aligned}$$

Jadi, faktor reduksi $\phi = 0,90$ dapat digunakan

Menentukan jumlah tulangan

$$\begin{aligned} A_s \text{ Lentur} &= 0,25 \times \pi \times d^2 \\ &= 0,25 \times \pi \times (19 \text{ mm})^2 \\ &= 283,53 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s \text{ Perlu}}{A_s \text{ Lentur}} \\ &= \frac{574,875 \text{ mm}^2}{283,53 \text{ mm}^2} = 2,027 \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

Tulangan terpasang 5D19

$$A_s = 1417,64 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 574,875 \text{ mm}^2 \Rightarrow \text{OK.}$$

- Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI 2847-2013 pasal 21.5.2.2, tulangan lentur tekan dipakai sebesar $\frac{1}{2}$ dari tulangan lentur tarik.

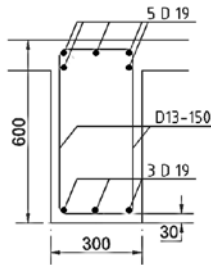
$$A_s' = 0,5 \times A_s$$

$$= 0,5 \times 1417,64 \text{ mm}^2 = 708,82 \text{ mm}^2$$

Tulangan terpasang 3D19

$$(A_s = 850,59 \text{ mm}^2 > A_s' = 708,82 \text{ mm}^2) \Rightarrow \text{OK}$$

- Penulangan Lentur Daerah Tumpuan Kanan



$$\begin{aligned} d &= h - (\text{selimut beton} + \text{tul.sengakang} + \frac{1}{2} \text{ tul.lentur}) \\ &= 600 \text{ mm} - (30 \text{ mm} + 13 \text{ mm} + (\frac{1}{2} \cdot 19 \text{ mm})) \\ &= 547,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dicoba menggunakan factor $\phi = 0,9$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{Mu}{\phi b \times d^2} \\ &= \frac{233968900}{0,9 \times 300 \text{ mm} \times (547,5 \text{ mm})^2} \\ &= 2,89 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 35}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,89}{0,85 \times 35}} \right) \\ &= 0,0076 \end{aligned}$$

Pembatasan nilai ρ

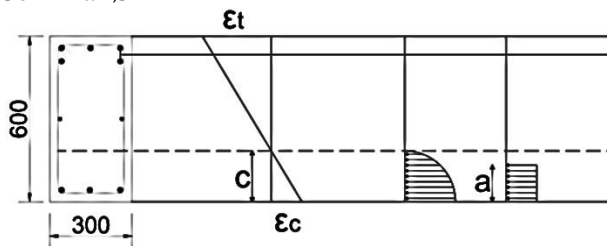
$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ MPa}} = 0,0035$$

$$\begin{array}{llll}
 \text{Syarat :} & \rho_{\min} & > & \rho_{\text{perlu}} \\
 & 0,0035 & > & 0,0076 \\
 \text{Jadi : dipakai} & \rho & = & 0,0076
 \end{array}$$

- Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0076 \times 300 \times 547,5 \text{ mm} \\
 &= 1248,3 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Cek nilai \emptyset



$$a = \frac{As \cdot f_y}{0,85 f_c \times b} = \frac{1248,3 \times 400}{0,85 \times 35 \times 300} = 55,95 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 0,85 - (0,05 \times (f_c' - 28) / 7) \\
 &= 0,85 - (0,05 \times (35 - 28) / 7) = 0,80
 \end{aligned}$$

$$C = \frac{a}{\beta_1} = \frac{55,95}{0,80} = 69,93 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t = \frac{d - c}{c} 0,003 = \frac{547,5 - 69,93}{69,93} 0,003 = 0,02 > 0,005$$

Jadi, faktor reduksi $\phi = 0,90$ dapat digunakan

Menentukan jumlah tulangan

$$\begin{aligned}
 \text{As Lentur} &= 0,25 \times \pi \times d^2 \\
 &= 0,25 \times \pi \times (19 \text{ mm})^2 \\
 &= 283,53 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$n = \frac{As_{\text{Perlu}}}{As_{\text{Lentur}}} = \frac{1248,3 \text{ mm}^2}{283,53 \text{ mm}^2} = 4,403 \approx 5 \text{ buah}$$

Tulangan terpasang 5D19

$$As = 1417,64 \text{ mm}^2 > As_{\text{perlu}} = 574,875 \text{ mm}^2 \Rightarrow \text{OK.}$$

- Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI 2847-2013 pasal 21.5.2.2, tulangan lentur tekan dipakai sebesar $\frac{1}{2}$ dari tulangan lentur tarik.

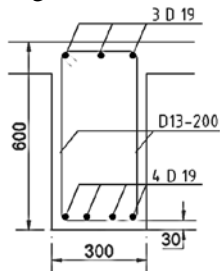
$$A_s' = 0,5 \times A_s$$

$$= 0,5 \times 1417,64 \text{ mm}^2 = 708,82 \text{ mm}^2$$

Tulangan terpasang 3D19

$$(A_s = 850,59 \text{ mm}^2 > A_s' = 708,82 \text{ mm}^2) \Rightarrow \text{OK}$$

- Penulangan Lentur Daerah Lapangan



$$\begin{aligned} d &= h - (\text{selimut beton} + \text{tul. sengkang} + \frac{1}{2} \text{ tul. lentur}) \\ &= 600 \text{ mm} - (30 \text{ mm} + 13 \text{ mm} + (\frac{1}{2} \cdot 19 \text{ mm})) \\ &= 547,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dicoba menggunakan factor $\phi = 0,9$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{Mu}{\phi b \times d^2} \\ &= \frac{203570400}{0,9 \times 300 \text{ mm} \times (547,5 \text{ mm})^2} \\ &= 2,52 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho \text{ perlu} &= \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 35}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,52}{0,85 \times 35}} \right) \\ &= 0,0066 \end{aligned}$$

Pembatasan nilai ρ

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ MPa}} = 0,0035$$

$$\text{Syarat : } \rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$$

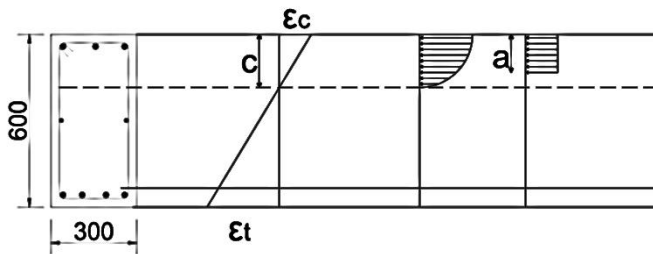
$$0,0035 > 0,0066$$

$$\text{Jadi : dipakai } \rho = 0,0066$$

- Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0066 \times 300 \times 547,5 \text{ mm} \\ &= 1084,05 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek nilai ϕ



$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f_c \times b} = \frac{1084,05 \times 400}{0,85 \times 35 \times 300} = 49,58 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,85 - (0,05 \times (f_c' - 28) / 7) \\ &= 0,85 - (0,05 \times (35 - 28) / 7) = 0,80 \end{aligned}$$

$$C = \frac{a}{\beta_1} = \frac{48,58}{0,80} = 60,73 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_t &= \frac{d - c}{c} 0,003 = \frac{547,5 - 60,73}{60,73} 0,003 = 0,024 > \\ &0,005 \end{aligned}$$

Jadi, faktor reduksi $\phi = 0,90$ dapat digunakan

Menentukan jumlah tulangan

$$\begin{aligned} A_s \text{ Lentur} &= 0,25 \times \pi \times d^2 \\ &= 0,25 \times \pi \times (19 \text{ mm})^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 283,53 \text{ mm}^2 \\
 n &= \frac{As \text{ Perlu}}{As \text{ Lentur}} \\
 &= \frac{1084,05 \text{ mm}^2}{283,53 \text{ mm}^2} = 3,82 \approx 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Tulangan terpasang 4D19 => OK.

$$As = 1134,12 \text{ mm}^2 > As \text{ perlu} = 1084,05 \text{ mm}^2 \Rightarrow \text{NOK.}$$

- Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI 2847-2013 pasal 21.5.2.2, tulangan lentur tekan dipakai sebesar $\frac{1}{2}$ dari tulangan lentur tarik.

$$\begin{aligned}
 As' &= 0,5 \times As \\
 &= 0,5 \times 1134,12 \text{ mm}^2 = 567,06 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

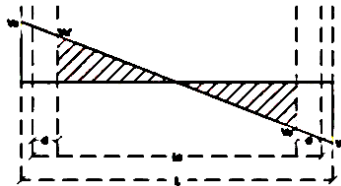
Tulangan terpasang 3D19

$$(As = 850,59 \text{ mm}^2 > As' = 567,06 \text{ mm}^2) \Rightarrow \text{OK}$$

c. Perhitungan Tulangan Geser

V_u pada jarak $d(0,8h)$ dari tumpuan adalah sebesar :

$$\begin{aligned}
 V_u &= Qu \left(\frac{1}{2} L - d \right) \\
 &= 4366,32 \text{ kgm} \left(\frac{1}{2} 8 \text{ m} - 0,048 \text{ m} \right) \\
 &= 17255,697 \text{ Kg} = 172556,97 \text{ N}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.5 Geser Pada Balok Anak

$$\begin{aligned}
 V_c &= (1/6) \sqrt{f_c'} b d \\
 &= (1/6) \cdot \sqrt{35} \cdot 300 \cdot 480 \\
 &= 141985,91 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 0,5 \cdot \emptyset V_c &= 0,5 \cdot 0,75 \cdot (1/6) \cdot \sqrt{f_c'} \cdot bw \cdot d \\
 &= 0,5 \cdot 0,75 \cdot (1/6) \cdot \sqrt{35} \cdot 300 \cdot 480 \\
 &= 53244,72 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \emptyset V_c &= 0,75 \cdot (1/6) \cdot \sqrt{f_c'} \cdot bw \cdot d \\
 &= 0,75 \cdot (1/6) \cdot \sqrt{35} \cdot 300 \cdot 480 \\
 &= 106489,44 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$V_u > \emptyset V_c$$

$$172556,97 \text{ N} < 106489,44 \text{ N} \rightarrow \text{Kondisi 3}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{V_u}{\emptyset} - V_c \\
 &= \frac{172556,97 \text{ N}}{0,75} - 106489,44 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$V_s = 123586,52 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{2\sqrt{f_c'}}{3} \cdot bw \cdot d$$

$$V_{s \text{ max}} = \frac{2\sqrt{35}}{3} \cdot 300 \cdot 480$$

$$V_{s \text{ max}} = 567943,66 \text{ N}$$

$$V_s < V_{s \text{ max}} \rightarrow 123586,52 \text{ N} < 567943,66 \text{ N}$$

Digunakan tulangan geser D13 ($A_v = 132,73 \text{ mm}^2$)

$$S_1 = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s}$$

$$S_1 = \frac{132,73 \times 400 \times 480}{123568,52}$$

$$S_1 = 206,24 \text{ mm}$$

$$S_2 = \frac{d}{2} \leq 600$$

$$= \frac{538}{2} \leq 600$$

$$= 269 \text{ mm} \leq 600$$

$$S_3 = \frac{A_v \times f_y t}{0,35 \cdot bw}$$

$$= \frac{132,73 \times 240}{0,35 \cdot 300}$$

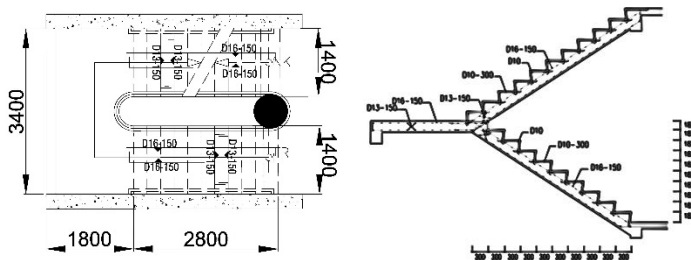
$$= 303,38 \text{ mm}$$

Tulangan terpasang D13-150 \rightarrow OK.

4.1.3. Perhitungan Tangga

Berikut adalah data desain tangga :

- Lebar injakan = 30 cm
- Tinggi tanjakan = 18 cm
- Jumlah tanjakan (nt) = 21 buah
- Jumlah injakan (ni) = 20 buah
- Tebal bordes = 15 cm
- Sudut tangga = $\text{arc tan } (18/30) = 30,96^\circ$
- Lebar bordes = 180 cm
- Tebal tangga = 15 cm
- Tebal rata-rata = $(i/20) \cdot \sin \alpha = (0,3/2) \cdot \sin 32,73^\circ$
= 0,077 m
- Tebal total = 0,15 m + 0,077 m = 0,227 m



Gambar 4.8. Geser Tampak dan Potongan Tangga

a. Pembebanan

Pembebanan Tangga

1. Berat Mati (DL)

$$\text{Berat sendiri} = (0,227 \times 2400) / \cos 30,96^\circ = 635,32 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat railing tangga} = 10 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat spesi (1 cm)} = 21 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat keramik (1 cm)} = 24 \text{ kg/m}^2 +$$

$$q_{DL} = 690,32 \text{ kg/m}^2$$

2. Beban Hidup (LL)

$$\text{Beban hidup tangga}(q_{LL}) = 300 \text{ kg/m}^2$$

Kombinasi Pembebanan Tangga

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= (1,2 \times 690,32 \text{ kg/m}^2) + (1,6 \times 300 \text{ kg/m}^2) \\ &= 1308,38 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Pembebanan Bordes

1. Berat Mati (DL)

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri} &= 0.15 \times 2400 \\ &= 360 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Berat spesi (1 cm)} &= 21 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Berat keramik (1 cm)} &= \underline{24 \text{ kg/m}^2} + \\ q_{DL} &= 405 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

2. Beban Hidup (LL)

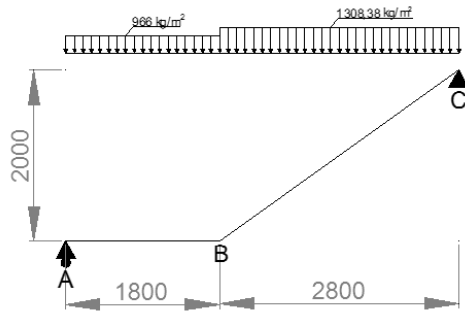
$$\text{Beban hidup tangga}(q_{LL}) = 300 \text{ kg/m}^2$$

Kombinasi Pembebanan Tangga

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= (1,2 \times 405 \text{ kg/m}^2) + (1,6 \times 300 \text{ kg/m}^2) \\ &= 966 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

b. Analisa Struktur Tangga

Pada proses analisa struktur tangga ini, menggunakan perhitungan statis tak tentu dengan menggunakan perletakan sendi rol, dimana pembebanan tangga dan output seperti dibawah ini:



Perhitungan Gaya-Gaya pada Tangga Reaksi Perletakan :

$$\Sigma MC = 0$$

$$Ra \cdot 4,6 - \left[(966 \times 1,8) \times \left(\frac{1,8}{2} + 2,8 \right) \right] - \left[(1308,38 \times 2,8) \times \left(\frac{2,8}{2} \right) \right] = 0$$

$$Ra = \frac{6433,56 + 5128,85}{4,6}$$

$$Ra = 2513,57 \text{ kg } (\uparrow)$$

$$\Sigma MA = 0$$

$$-Rc \cdot 4,6 + \left[(966 \times 1,8) \times \left(\frac{1,8}{2} \right) \right] + \left[(1308,38 \times 2,8) \times \left(\frac{2,8}{2} + 1,8 \right) \right] = 0$$

$$Rc = \frac{1564,92 + 11723,08}{4,6}$$

$$Rc = 2888,69 \text{ kg } (\uparrow)$$

Kontrol :

$$\Sigma V = 0$$

$$2513,57 \text{ kg} - 1738,8 \text{ kg} - 3663,46 \text{ kg} + 2888,69 \text{ kg} = 0$$

Perhitungan Gaya Lintang

Potongan X1

$$Dx_1 = Ra - q_1 \cdot x_1 = 2513,57 - (966 \cdot x_1)$$

$$\text{Untuk } x_1 = 0 \text{ m} \quad D_A = 2513,37 \text{ kg}$$

$$x_1 = 1,8 \text{ m} \quad D_B = 2513,57 - (966 \cdot 1,8) = 774,77 \text{ kg}$$

Potongan X_2

$$D_{x_2} = -R_c + q_2 \cdot x_2 = -2888,69 + (1308,38 \cdot x_2)$$

$$\text{Untuk } x_2 = 0 \text{ m} \quad D_C = -2888,69 \text{ kg}$$

$$x_2 = 2,8 \text{ m} \quad D_B = -2888,69 + (1308,38 \cdot 2,8) = 774,771 \text{ kg}$$

Perhitungan Gaya Momen

Potongan X_1

$$M_{x_1} = R_a \cdot x_1 - q_1 \cdot x_1 \cdot \frac{1}{2} x_1 = 2513,57 x_1 - (966 \cdot x_1 \cdot \frac{1}{2} x_1)$$

$$\text{Untuk } x_1 = 0 \text{ m} \quad M_A = 0$$

$$x_2 = 1,8 \text{ m} \quad M_B = 2513,57 \cdot 1,8 - (966 \cdot 1,8 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,8) \\ = 2959,5 \text{ kg.m}$$

Potongan X_2

$$M_{x_2} = R_c \cdot x_2 - q_2 \cdot x_2 \cdot \frac{1}{2} x_2 = 2888,69 \cdot x_2 - (1308,38 \cdot x_2 \cdot \frac{1}{2} x_2)$$

$$\text{Untuk } x_1 = 0 \text{ m} \quad M_C = 0$$

$$x_2 = 4,6 \text{ m} \quad M_B = 2888,69 \cdot 2,8 - (1308,38 \cdot 2,8 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2,8) \\ = 2959,5 \text{ kg.m}$$

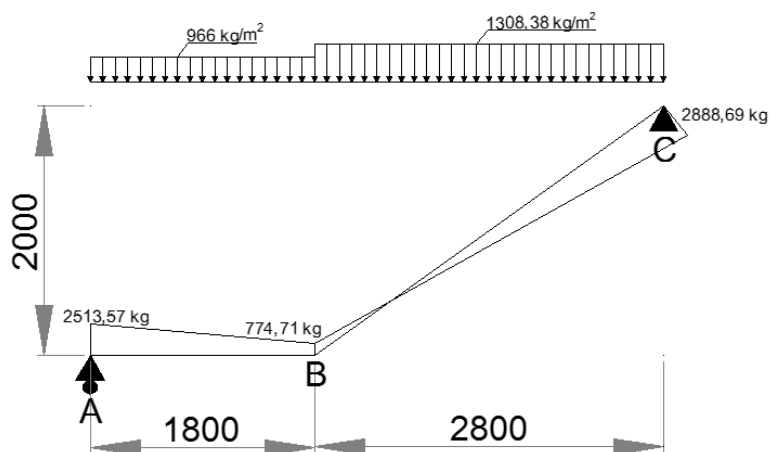
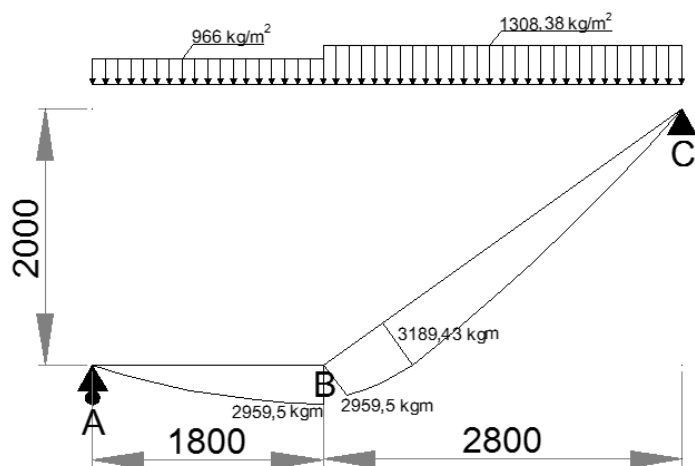
Momen Maksimum terjadi pada Tangga

$$D_{x_2} = -R_c + (q_2 \cdot x_2) = 0$$

$$D_{x_2} = -2888,96 + (1308,38 \cdot x_2) = 0$$

$$x_2 = \frac{2888,96}{1308,38} = 2,2 \text{ m}$$

$$M_{\max} = R_c \cdot x_2 - q_2 \cdot x_2 \cdot \frac{1}{2} x_2 \\ = 2888,96 \cdot 2,2 - (1308,38 \cdot 2,2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2,2) \\ = 3189,43 \text{ kg.m}$$

Gambar Bidang D**Gambar Bidang M**

c. Perhitungan Tulangan Tangga

Penulangan Pelat Tangga

Data Perencanaan :

- $M_u = 3189,43 \text{ kg.m} = 31894300 \text{ Nmm}$
- Tebal pelat tangga 150 mm
- Tebal decking 20 mm
- Diameter tulangan rencana 16 mm
- Mutu tulangan baja $f_y = 300 \text{ Mpa}$
- Mutu beton $f_c' = 30 \text{ Mpa}$; $\beta_1 = 0,85$

Penulangan arah memanjang

Tulangan arah memanjang merupakan tulangan utama dari struktur pelat tangga dan bordes

$$\begin{aligned} d &= \text{tebal pelat} - \text{cover} - \frac{1}{2} \text{ tulangan} \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \frac{1}{2} 16 \text{ mm} \\ &= 122 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\emptyset = 0,9 \text{ diasumsikan dahulu}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b \times d^2} = \frac{31894300}{0,9 \times 1000 \times 122^2} = 2,38 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho \text{ perlu} = \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 30}{240} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,38}{0,85 \times 30}} \right)$$

$$= 0,01$$

$$\rho \text{ min} = 0,002$$

$$\rho \text{ min} < \rho \text{ perlu}$$

$$0,002 < 0,01$$

Dipakai $\rho = 0,01$

Luas Tulangan

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times 1000 \times d$$

$$= 0,01 \times 1000 \times 122$$

$$= 1220 \text{ mm}^2$$

Cek nilai \emptyset

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f_c \times b} \\ &= \frac{1220 \times 240}{0,85 \times 30 \times 1000} = 11,48 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,85 - (0,05 \times (f_c' - 28) / 7) \\ &= 0,85 - (0,05 \times (30 - 28) / 7) = 0,8 \end{aligned}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{11,48}{0,8} = 14,35$$

$$e_t = \frac{d - c}{c} \times 0,003 = \frac{122 - 14,35}{14,35} \times 0,003 = 0,023 > 0,005$$

faktor reduksi $\phi = 0,90$ dapat digunakan
syarat jarak maksimum

$$\begin{aligned} 2h &= 2 \times 150 \text{ mm} \\ &= 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tulangan terpasang **D16 - 150 mm (OK)**

Penulangan arah melintang

Tulangan arah melintang merupakan tulangan susut atau tulangan bagi struktur tangga. Dengan ρ_{susut} untuk mutu tulangan 400MPa adalah 0,0018

$$\begin{aligned} d &= \text{tebal pelat} - \text{cover} - \text{tulangan utama} - \frac{1}{2} \text{tul. susut} \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 16 \text{ mm} - \frac{1}{2} 13 \text{ mm} \\ &= 107,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho \times 1000 \times d \\ &= 0,002 \times 1000 \times 107,5 \\ &= 215 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

syarat jarak maksimum

$$\begin{aligned} 2h &= 2 \times 150 \text{ mm} \\ &= 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tulangan terpasang} &= \emptyset 13 - 150 \text{ mm} \rightarrow A_s = 884,88 \text{ mm}^2 \\ A_s &> A_s \text{ perlu} \rightarrow 884,88 \text{ mm}^2 > 215 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

d. Penulangan Pelat Bordes

Data Perencanaan :

- $M_u = 2959,5 \text{ kg.m} = 29595000 \text{ Nmm}$
- Tebal pelat tangga 150 mm
- Tebal decking 20 mm
- Diameter tulangan rencana 16 mm
- Mutu tulangan baja $f_y = 240 \text{ Mpa}$
- Mutu beton $f_c' = 30 \text{ Mpa}$; $\beta_1 = 0,85$

Penulangan arah memanjang

Tulangan arah memanjang merupakan tulangan utama dari struktur pelat tangga dan bordes

$$\begin{aligned} d &= \text{tebal pelat} - \text{cover} - \frac{1}{2} \text{ tulangan} \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \frac{1}{2} 16 \text{ mm} \\ &= 122 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\phi = 0,9 \text{ diasumsikan dahulu}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b \times d^2} = \frac{29595000}{0,9 \times 1000 \times 122^2} = 2,21 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 30}{240} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,21}{0,85 \times 30}} \right)$$

$$= 0,0096$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,002$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}}$$

$$0,002 < 0,0096$$

$$\text{Dipakai } \rho = 0,0096$$

Luas Tulangan

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times 1000 \times d$$

$$= 0,0096 \times 1000 \times 122$$

$$= 1171,2 \text{ mm}^2$$

Cek nilai \emptyset

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f_c \times b}$$

$$= \frac{1171,2 \times 240}{0,85 \times 30 \times 1000} = 11,02$$

$$\beta_1 = 0,85 - (0,05 \times (f_c' - 28) / 7)$$

$$= 0,85 - (0,05 \times (30 - 28) / 7) = 0,8$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{11,02}{0,8} = 13,775$$

$$\epsilon_t = \frac{d - c}{c} 0,003 = \frac{122 - 13,775}{13,775} 0,003 = 0,024 > 0,005$$

faktor reduksi $\phi = 0,90$ dapat digunakan
syarat jarak maksimum

$$2h = 2 \times 150 \text{ mm}$$

$$= 300 \text{ mm}$$

Tulangan terpasang = **D16 - 150 mm (OK)**

Penulangan arah melintang

Tulangan arah melintang merupakan tulangan susut atau tulangan bagi struktur tangga. Dengan ρ_{susut} untuk mutu tulangan 240MPa adalah 0,0018

$$d = \text{tebal pelat} - \text{cover} - \text{tulangan utama} - \frac{1}{2} \text{tul. susut}$$

$$= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 16 \text{ mm} - \frac{1}{2} 13 \text{ mm}$$

$$= 107,5 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times 1000 \times d$$

$$= 0,002 \times 1000 \times 107,5$$

$$= 215 \text{ mm}^2$$

syarat jarak maksimum

$$2h = 2 \times 150 \text{ mm}$$

$$= 300 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan terpasang} = \text{Ø13 - 150 mm} \rightarrow A_s = 884,88 \text{ mm}^2$$

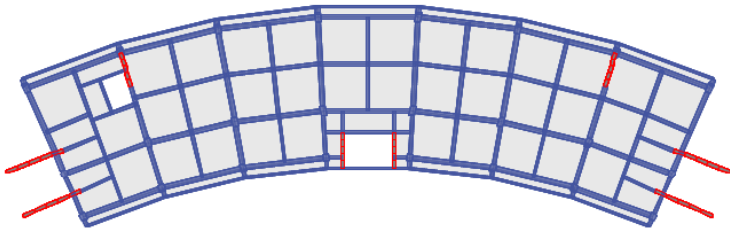
$$A_s > A_s \text{ perlu} \rightarrow 884,88 \text{ mm}^2 > 215 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

4.2. Analisa Dan Permodelan Struktur

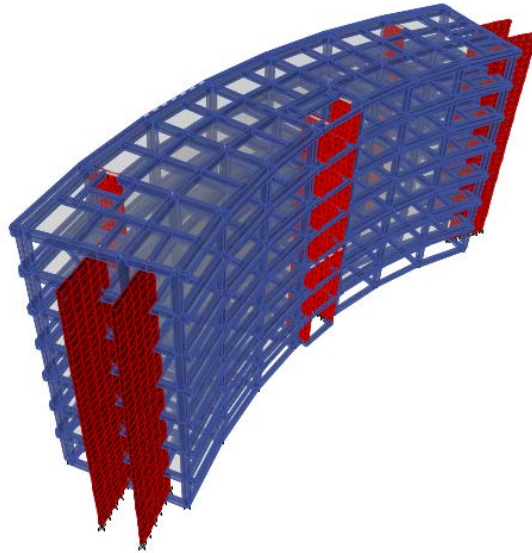
4.2.1. Penjelasan Umum

Struktur bangunan Gedung Laboratorium –Dast dan Ruang Kuliah Bersama Universitas Jember memiliki 8 lantai dengan ketinggian total 28. Pemodelan struktur gedung menggunakan *software* ETABS 2013 dan persyaratan SNI 1726-2012 (gempa) dan SNI 1727-2013 (beban minimum). Dalam pemodelan ini, elemen struktural yang dimodelkan adalah kolom, dinding geser, balok, dan pelat lantai.

Pemodelan struktur Gedung aboratorium C-Dast dan Ruang Kuliah bersama dengan menggunakan ETABS 2013 bertujuan untuk mendapatkan gaya dalam setiap elemen struktur, yang nantinya akan dibandingkan dengan kapasitas struktur eksisting. Dengan demikian dapat diketahui perkuatn yang dibutuhkan struktur eksisting. Mutu beton yang digunakan, yaitu $f'_c = 35 \text{ Mpa}$ untuk elemen balok, kolom dan shearwall, dan $f'_c = 30 \text{ Mpa}$ untuk elemen pelat. Sedangkan untuk kekuatan tarik baja digunakan $f_y = 400 \text{ MPa}$.



Gambar 4.9. Tampak atas Gedung Laboratorium C-Dast dan Ruang Kuliah Bersama Universitas Jember



Gambar 4.10. Model 3D Struktur Gedung Laboratorium C-Dast dan Ruang Kuliah Bersama Universitas Jember

4.2.2. Pembebanan

4.2.2.1. Beban Mati

a. Beban Mati Struktural

Beban mati struktural merupakan berat sendiri bangunan yang memiliki fungsi struktural untuk menahan beban. Beban mati struktural yang diperhitungkan adalah beban struktur beton bertulang, yaitu sebesar 2400 kg/m^3 .

b. Beban Mati Tambahan atau *SIDL*

Beban mati tambahan merupakan berat elemen nonstruktural yang secara permanen membebani struktur.

1) Beban Mati Tambahan pada Lantai 1 s.d. 8

$$\text{Keramik} = 0,01 \times 2400 = 24 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Spesi (t=10mm)} = 0,01 \times 2100 = 21 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Plafond + penggantung} & = 11 + 7 & = 18 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Plumbing + ME} & & = 65 \text{ kg/m}^2 + \\
 \text{SIDL lantai} & & = 128 \text{ kg/m}^2
 \end{array}$$

2) Beban Mati Tambahan pada Lantai Atap

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Aspal} & & = 14 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Plafond + penggantung} & & = 18 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Plumbing + ME} & & = 65 \text{ kg/m}^2 + \\
 \text{SIDL atap} & & = 97 \text{ kg/m}^2
 \end{array}$$

3) Beban Dinding

$$\text{Beban dinding lt.1 - lt. 7} = 250 \times 4 = 1000 \text{ kg/m}^2$$

4.2.2.2. Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin, serta peralatan yang bukan merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup gedung tersebut. Beban hidup yang bekerja pada pelat lantai untuk laboratorium adalah 300 kg/m^2 , beban hidup untuk ruang kuliah adalah 200 kg/m^2 , sedangkan beban hidup yang bekerja pada lantai atap adalah 100 kg/m^2 .

4.2.2.3. Beban Gempa Rencana

Analisis gempa yang akan dikenakan pada struktur gedung menggunakan analisis spektrum respons. Berdasarkan SNI 1726-2012, spektrum respons gempa rencana desain harus dibuat terlebih dahulu. Dengan data percepatan batuan dasar $S_s = 0,703$ dan $S_1 = 0,3$ yang berada di kota Jember, tahap-tahap yang perlu dilakukan untuk membuat spektrum respons gempa rencana desain dapat dilakukan sebagai berikut.

a. Kategori Risiko (I) dan Faktor Keutamaan (Ie)

Berdasarkan pasal 4.1.2 SNI 1726-2012, struktur ini termasuk dalam kategori risiko IV dengan faktor keutamaan gempa (Ie) 1,50.

b. Jenis Tanah

Berdasarkan hasil tes *boring* yang dilakukan di lapangan, diperoleh nilai N-SPT tanah rata-rata untuk kedalaman 30 meter yaitu $N = 17,91$ (15 sampai 50). Dengan hasil tersebut, berdasarkan pasal 5.3 SNI 1726-2012, maka kategori tanah yang ada di lapangan merupakan TANAH SEDANG (SD).

c. Koefisien Situs

Berdasarkan pasal 6.2 SNI 1726-2012, koefisien situs ditentukan berdasarkan beberapa parameter, yaitu nilai S_s dan S_1 dan kelas situs yang berdasarkan jenis tanah.

$$F_a = 1,24$$

$$F_v = 1,8$$

Penentuan nilai S_{MS} dan S_{M1} :

$$S_{MS} = F_a \times S_s$$

$$S_{MS} = 1,24 \times 0,703$$

$$S_{MS} = 0,872$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1$$

$$S_{M1} = 1,8 \times 0,3$$

$$S_{M1} = 0,54$$

d. Parameter Percepatan Spektral Desain

Berdasarkan pasal 6.3 SNI 1726-2012, parameter percepatan spektral desain, yaitu S_{DS} dan S_{D1} ditentukan berdasarkan rumus di bawah ini.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS}$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} (0,872)$$

$$S_{DS} = 0,58$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} (0,54)$$

$$S_{D1} = 0,36$$

Dengan nilai-nilai tersebut, struktur gedung diklasifikasikan sebagai kategori desain seismik kategori D.

e. Sistem Penahan Gaya Seismik

Untuk Atruktur Gedung Laboratorium C-Dast dan Ruang Kuliah Bersama Universitas Jember ini, digunakan Sistem Rangka Gedung. Sistem rangka gedung dengan dinding geser beton bertulang khusus pada arah X dan Y.

Parameter sistem struktur untuk arah X dan Y dengan dinding geser beton bertulang khusus adalah:

$$R_0 = 6$$

$$\Omega_0 = 2,5$$

$$C_d = 5$$

f. Spektrum Respons Desain

Penentuan nilai T_0 dan T_s :

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_0 = 0,2 \frac{0,36}{0,58}$$

$$T_0 = 0,12$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

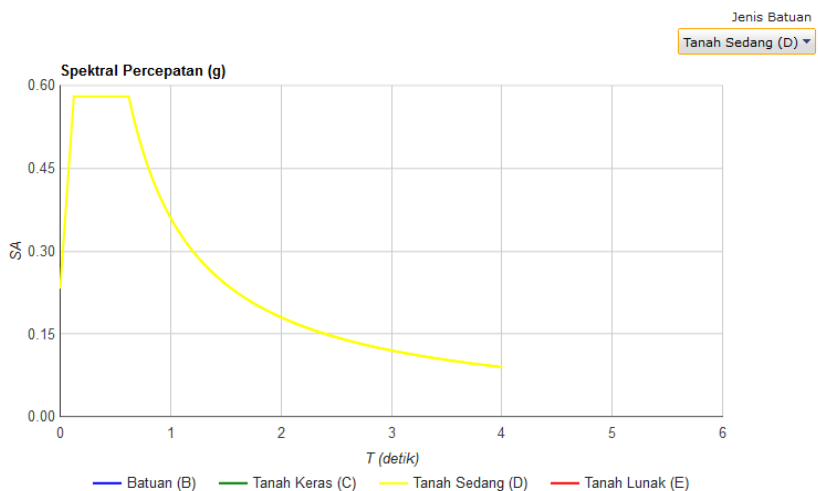
$$T_s = \frac{0,36}{0,58}$$

$$T_s = 0,62$$

Untuk periode yang lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

Dengan bantuan *software* Spektra Indo, spektrum gempa rencana sesuai letak gedung tersebut didapatkan sebagai berikut.



Gambar 4.11. Spektrum Respons Gempa Rencana

g. Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen

Berikut ini akan dihitung koefisien respons seismik, C_s , berdasarkan pasal 7.8.1.1 SNI 1726-2012.

1) Cs maksimum

$$C_{s\text{maksimum}} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)}$$

$$C_{s\text{maksimum}} \text{ arah X dan Y} = \frac{0,58}{\left(\frac{6}{1,5}\right)} = 0,145$$

2) Cs hitungan

$$C_{s\text{hasil hitungan}} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I}\right)}$$

$$C_{s\text{hasil hitungan}} \text{ arah X} = \frac{0,36}{0,727 \left(\frac{6}{1,5}\right)} = 0,124$$

$$C_{s\text{hasil hitungan}} \text{ arah Y} = \frac{0,36}{0,707 \left(\frac{6}{1,5}\right)} = 0,127$$

3) Cs minimum

$$C_{s\text{minimum}} = 0,044 S_{DS} I \geq 0,01$$

$$C_{s\text{minimum}} \text{ arah X dan Y} = (0,044)(0,58)(1,5) = 0,04$$

Nilai Cs yang digunakan adalah 0,124 untuk arah X, dan 0,127 untuk arah Y, karena Cs hitungan terletak di interval antara Cs minimum dan Cs maksimum.

h. Periode Fundamental Pendekatan

Periode fundamental (T) yang digunakan memiliki nilai batas maksimum dan batas minimum sesuai pasal 7.8.2.1 SNI 1726-2012, yaitu:

$$T_{a\text{minimum}} = C_t h_n^x$$

$$T_{a\text{maksimum}} = C_u T_{a\text{minimum}}$$

$$T_{a\text{minimum}} = 0,048 (28)^{0,75} = 0,59 \text{ detik}$$

$$T_{a\text{maksimum}} = 1,4 (0,59) = 0,83 \text{ detik}$$

4.2.2.4. Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 4.2.2, faktor-faktor dan kombinasi beban ultimit untuk beban mati nominal (D), beban hidup nominal (L), beban angin nominal (W), dan beban gempa nominal (E) adalah:

- a. $1,4D$
- b. $1,2D + 1,6L$
- c. $1,2D + 1,0W + L$
- d. $1,2D + 1,0E + L$
- e. $0,9D + 1,0W$
- f. $0,9D + 1,0E$

4.2.3. Hasil Analisa Struktur

4.2.3.1. Periode Struktur

Periode struktur (T) yang didapat dari analisis 3 dimensi ETABS adalah:

Arah X $\rightarrow T = 0,727$ detik

Dilakukan kontrol terhadap T_a minimum dan T_a maksimum. Didapatkan Periode struktur (T) dari hasil ETABS berada di dalam interval antara T_a minimum dan T_a maksimum.

$$T_{a \min} < T < T_{a \max}$$

$$0,59 < 0,727 < 0,83$$

Arah Y $\rightarrow T = 0,707$ detik

Dilakukan kontrol terhadap T_a minimum dan T_a maksimum. Didapatkan Periode struktur (T) dari hasil ETABS berada di dalam interval antara T_a minimum dan T_a maksimum.

$$T_{a \min} < T < T_{a \max}$$

$$0,59 < 0,707 < 0,83$$

4.2.3.2. Berat Bangunan

Bagian ini merupakan kontrol berat bangunan yang dihitung secara manual dan dihitung secara komputerisasi oleh ETABS. Hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya kesalahan pemasukan data pada ETABS.

Tabel 4.1 Kontrol Berat Bangunan

STORY	ETABS (Ton)	Manual (Ton)
Lantai 1	104.395	106.369
Lantai 2	688.200	673.981
Lantai 3	688.200	673.981
Lantai 4	662.349	650.915
Lantai 5	662.349	650.915
Lantai 6	662.349	650.915
Lantai 7	662.349	650.915
Lt. Atap	522.896	511.448
WT	4653.086	4569.440

Dari hasil perhitungan di atas didapat selisih berat bangunan sebesar 1,79%, nilai ini masih berada di bawah batas selisih toleransi berat bangunan, yaitu 5%. Karena dalam perhitungan berat bangunan manual mengabaikan adanya rongga (*void*) pada struktur gedung, maka untuk perhitungan selanjutnya, akan digunakan berat bangunan yang dihitung oleh ETABS.

4.2.3.3. Gaya Geser Dasar Nominal Statik Ekuivalen

Beban geser dasar nominal statik ekuivalen adalah:

$$V = C_s W_t$$

Distribusi vertikal gaya gempa ditentukan berdasarkan:

$$F_i = C_{vx} V = \frac{w_i h_i^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} V$$

Distribusi horizontal gaya gempa dapat ditentukan berdasarkan:

$$V_x = \sum_{i=1}^n F_i$$

Tabel 4.2 Gaya Geser Dasar Ekuivalen Arah X

Story	Tinggi	Berat Lantai	$w * h^k$	$wh^k / \sum wh^k$	100% Fx	30% Fy	Vx
	m	kN	kNm		kN	kN	kN
Story7	28	6417.371	472270.691	0.209	1674.422	502.327	1674.422
Story6	24	9420.806	568277.632	0.251	2014.812	604.444	3689.234
Story5	20	9420.806	449176.219	0.199	1592.541	477.762	5281.775
Story4	16	9420.806	336823.852	0.149	1194.199	358.260	6475.975
Story3	12	9420.806	232397.723	0.103	823.959	247.188	7299.934
Story2	8	9868.845	144295.379	0.064	511.595	153.479	7811.529
Story1	4	9857.290	58940.651	0.026	208.972	62.692	8020.501
Base	0	961.098	0.000	0.000	0.000	0.000	8020.501
TOTAL		64787.828	2262182.148	1.000	8020.501	2406.150	

Tabel 4.3 Gaya Geser Dasar Ekuivalen Arah Y

Story	Tinggi	Berat Lantai	$w * h^k$	$wh^k / \sum wh^k$	100% Fy	30% Fx	VY
	m	kN	kNm		kN	kN	kN
Story7	28	6417.371	456792.973	0.208	1957.101	587.130	1957.101
Story6	24	9420.806	550501.428	0.251	2358.589	707.577	4315.690
Story5	20	9420.806	435919.659	0.198	1867.670	560.301	6183.360
Story4	16	9420.806	327613.386	0.149	1403.639	421.092	7586.999
Story3	12	9420.806	226694.016	0.103	971.256	291.377	8558.255
Story2	8	9868.845	141325.823	0.064	605.502	181.650	9163.757
Story1	4	9857.290	58129.198	0.026	249.051	74.715	9412.808
Story SB	0	961.098	0.000	0.000	0.000	0.000	9412.808
TOTAL		64787.828	2196976.483	1.000	9412.808	2823.842	

Nilai $k = 1,29$ untuk arah x dan $k = 1,28$ untuk arah y ditentukan berdasarkan pasal 7.8.3 SNI 1726-2012. Jadi,

didapat nilai gaya lateral ekuivalen untuk masing-masing arah adalah:

$$V_x = C_{s_x} W_t = 0,124 \times 64787,828 = 8020,501 \text{ kN}$$

$$V_y = C_{s_y} W_t = 0,127 \times 64787,828 = 8247,39 \text{ kN}$$

Tabel 4.4 Gaya Geser Dasar

TABLE: Base Reactions			
Load Case/Combo	FX	FY	FZ
	kN	kN	kN
Dead	6.7536	298.3996	46651.37
Dead+	3.2889	137.732	12907.6
Live	4.2449	68.4263	10015.41
ex Max	12333.578	4237.731	1.45E-05
ey Max	3859.344	14121.34	3.79E-05

Sedangkan, besarnya gaya lateral akibat respons dinamik (V_t) yang dihasilkan ETABS adalah:

$$V_{t_x} = 12333,578 \text{ kN}$$

$$V_{t_y} = 14121,34 \text{ kN}$$

Berdasarkan pasal 7.9.4.1 SNI 1726-2012, nilai akhir respons dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu, tidak boleh diambil kurang dari 85% nilai respons ragam yang pertama.

$$V_t \geq 0,85 V$$

Bila respons untuk geser dasar ragam (V_t) lebih kecil 85% dari geser dasar yang dihitung (V) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya harus dikalikan dengan 0,85 (V/V_t). Maka:

$$0,85 V_x = 0,85 \times 8020,501 = 6817,426 \text{ kN}$$

$$0,85 V_y = 0,85 \times 8247,39 = 7010,281 \text{ kN}$$

Kontrol:

$$V_{t_x} = 12333,578 \text{ kN} \geq 0,85 V_x = 6817,426 \text{ kN (OK)}$$

$$V_{t_y} = 14121,34 \text{ kN} \geq 0,85 V_y = 7010,281 \text{ kN (OK)}$$

Maka gaya geser akibat pengaruh gempa sudah memenuhi dan tidak perlu dikalikan faktor skala.

4.2.3.4. Kontrol Sistem Rangka Gedung

Gedung yang memiliki sistem rangka ganda adalah gedung dimana minimal 90% dari beban lateral total yang terjadi pada gedung akibat gaya gempa arah X maupun arah Y dipikul oleh dinding geser (*Shearwall*). *Frame* yang dianalisis adalah *frame* arah X dan arah Y, karena masing-masing arah memiliki Dinding geser.

Tabel 4.5 Kontrol Sistem Ganda Arah X

Komponen	FX		FY	
	EX (Ton)	EY (Ton)	EX (Ton)	EY (Ton)
SW	1290.48	900.20	976.55	1529.80
SRG	1347.95	961.65	1013.10	1688.90
Prosentase (%)	95.74	93.61	96.39	90.58

4.2.3.5. Periode ETABS dan Modal Participating Mass Ratio

Berikut ini merupakan tabel untuk periode ETABS dan *Modal Participating Mass Ratio* berdasarkan SNI 1726-2012.

Tabel 4.6 Periode Struktur dan Rasio Partisipasi Massa

Mode	Period	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ
	sec						
1	0.727	0.025	0.005	0	0.025	0.005	0
2	0.707	0	0.744	0	0.025	0.748	0
3	0.626	0.717	0	0	0.742	0.748	0
4	0.203	0.008	0	0	0.750	0.748	0
5	0.181	0	0.155	0	0.750	0.903	0
6	0.144	0.164	0	0	0.914	0.903	0
7	0.112	0	0	0	0.914	0.903	0
8	0.111	0	0	0	0.914	0.903	0
9	0.105	0	0	0	0.914	0.903	0
10	0.101	0	0	0	0.914	0.903	0
11	0.101	0.003	0	0	0.917	0.903	0
12	0.094	0	0.002	0	0.917	0.906	0

4.2.3.6. Kontrol Simpangan Antarlantai (*Story Drift*)

Berdasarkan SNI 1726-2012, simpangan antarlantai hanya ada saat kondisi kinerja batas ultimit saja. Tabel berikut ini merupakan hasil perhitungan simpangan antarlantai pada arah x dan y berdasarkan SNI 1726-2012 pada kondisi kinerja batas ultimit.

Tabel 4.7 Simpangan Antarlantai Arah X

Lantai	Elevasi (m)	Tinggi Lantai (m)	Simpangan (mm)	Simpangan diperbesar (mm)	Simpangan antarlantai (mm)	Simpangan ijin antarlantai (mm)	Kontrol Simpangan
i	hi	hsx	δ_e	δ	Δ	Δa	$\Delta < \Delta a$
		hi-h(i-1)	(ETABS)	$\delta_{ei} - \delta_{ei-1} \times C$	δ / I_e	0,01* hsx	
Atap	28	4	37.7	33.000	22.000	40	OK
7	24	4	31.1	35.500	23.667	40	OK
6	20	4	24	36.000	24.000	40	OK
5	16	4	16.8	34.000	22.667	40	OK
4	12	4	10	29.000	19.333	40	OK
3	8	4	4.2	18.000	12.000	40	OK
2	4	4	0.6	2.992	1.995	40	OK
1	0	0	0.001586	0.008	0.005	0	OK

Tabel 4.8 Simpangan Antarlantai Arah Y

Lantai	Elevasi (m)	Tinggi Lantai (m)	Simpangan (mm)	Simpangan diperbesar (mm)	Simpangan antarlantai (mm)	Simpangan ijin antarlantai (mm)	Kontrol Simpangan
i	hi	hsx	δ_e	δ	Δ	Δa	$\Delta < \Delta a$
		hi-h(i-1)	(ETABS)	$\delta_{ei} - \delta_{ei-1} \times C$	δ / I_e	0,01* hsx	
8	28	4	58.6	46.000	30.667	40	OK
7	24	4	49.4	50.500	33.667	40	OK
6	20	4	39.3	55.500	37.000	40	OK
5	16	4	28.2	56.500	37.667	40	OK
4	12	4	16.9	49.500	33.000	40	OK
3	8	4	7	30.000	20.000	40	OK
2	4	4	1	4.913	3.275	40	OK
1	0	0	0.01741	0.087	0.058	0	OK

Contoh perhitungan simpangan antar lantai (*story drift*) kinerja batas ultimit pada lantai 8 arah Y:

1. Nilai perpindahan elastis (*total drift*) dari ETABS yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekakuan pada lantai 8, yaitu 58,6 mm. Jadi nilai $\delta_{e8} = 58,6$ mm.
2. Nilai perpindahan elastis (*total drift*) dari ETABS yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekakuan pada lantai 7, yaitu 49,4 mm. Jadi nilai $\delta_{e7} = 49,4$ mm.
3. Hitung simpangan atau perpindahan antar lantai untuk lantai 11 yaitu dengan persamaan $(\delta_{e8} - \delta_{e7}) = (58,6 - 49,4) = 9,2$ mm.
4. Hitung nilai perpindahan antarlantai (*story drift*) yang diperbesar, yaitu:

$$\frac{(\delta_{e8} - \delta_{e7})Cd}{Ie} = 30,667 \text{ mm}$$
5. Hitung nilai batas untuk simpangan antarlantai (*story drift*) Δ_a yang terdapat pada pasal 7.12.1 SNI 1726-2012, yaitu:
 $\Delta_a < 0,01 h_{sx}$
 $\Delta_a < 0,01 (4000)$
 $\Delta_a < 40 \text{ mm}$
6. Cek nilai simpangan antarlantai pada lantai 11, yaitu:
 $30,667 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$ (OK)

4.2.3.7. Pengaruh P- Δ

Pengaruh P- Δ pada SNI 1726-2012 ditentukan berdasarkan nilai dari koefisien stabilitas (θ). Jika $\theta < 0,1$, pengaruh P- Δ dapat diabaikan. Berikut ini merupakan hasil perhitungan P- Δ pada masing-masing arah baik x dan y.

Tabel 4.9 Kontrol Pengaruh P- Δ Arah X

Story	Elevation (mm)	Story Drift (X) (mm)	Gaya Geser Seismik (kN)	Beban Vertikal (kN)	Beban Vertikal Kumulatif (kN)	Stability Ratio (θ)	Cek
Story 7	28000	37.700	1674.422	6417.371	6417.371	0.0010	OK
Story 6	24000	31.100	3689.234	9420.806	15838.177	0.0011	OK
Story 5	20000	24.000	5281.775	9420.806	25258.983	0.0011	OK
Story 4	16000	16.800	6475.975	9420.806	34679.789	0.0011	OK
Story 3	12000	10.000	7299.934	9420.806	44100.595	0.0010	OK
Story 2	8000	4.200	7811.529	9868.845	53969.440	0.0007	OK
Story 1	4000	0.600	8020.501	9857.290	63826.730	0.0002	OK
Base	0	0.002	8020.501	961.098	64787.828	-	

Tabel 4.10 Kontrol Pengaruh P- Δ Arah Y

Story	Elevation (mm)	Story Drift Y (mm)	Gaya Geser Seismik (kN)	Beban Vertikal (kN)	Beban Vertikal Kumulatif (kN)	Stability Ratio (θ)	Cek
Story 7	28000	58.600	1714.788	6417.371	6417.371	0.0016	OK
Story 6	24000	49.400	3781.356	9420.806	15838.177	0.0017	OK
Story 5	20000	39.300	5417.786	9420.806	25258.983	0.0018	OK
Story 4	16000	28.200	6647.638	9420.806	34679.789	0.0018	OK
Story 3	12000	16.900	7498.641	9420.806	44100.595	0.0017	OK
Story 2	8000	7.000	8029.174	9868.845	53969.440	0.0012	OK
Story 1	4000	1.000	8247.390	9857.290	63826.730	0.0004	OK
Base	0	0.017	8247.390	961.098	64787.828	-	-

Contoh perhitungan pengaruh P- Δ pada lantai 11 arah y:

- Digunakan nilai simpangan antarlantai (*story drift*) yang telah didapat pada lantai 6 untuk arah y berdasarkan SNI 1726-2012 pada Tabel 6.9. Nilai *story drift* untuk lantai 6 arah y adalah $\Delta_6 = 49,4$ mm.

- b. Beban desain vertikal yang bekerja pada lantai 6 (P6) adalah penjumlahan antara beban mati dan beban hidup dengan kombinasi 1D + 1L yang bekerja pada lantai 6 dan lantai 7, yaitu:

$$P_6 = P_7 + 9420,806 = 15838,177 \text{ kN}$$

- c. Dihitung nilai koefisien stabilitas (θ), yaitu:

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_x}{V_x h_{sx} C_d} = \frac{15838,177 (49,4)}{3781,356 (2400)(5)} = 0,0017$$

- d. Cek nilai koefisien stabilitas pada lantai 6, yaitu $0,0017 < 0,1$ (OK), pengaruh P- Δ dapat diabaikan.

4.2.3.8. Pengaruh Eksentrisitas dan Torsi

Torsi berdasarkan SNI 03-1726-2012 terdiri dari torsi bawaan dan torsi tak terduga. Eksentrisitas dari torsi bawaan dapat dilihat melalui ETABS. Berikut ini merupakan data eksentrisitas dari torsi bawaan yang didapat melalui ETABS untuk arah x dan y.

Tabel 4.11 Data Eksentrisitas Torsi Bawaan

LANTAI	PUSAT MASSA		PUSAT ROTASI		EKSENTRISITAS	
					(e)	
	XCM (m)	YCM (m)	XCR (m)	YCR (m)	X (m)	Y (m)
Story7	0.135	-7.625	-0.007	-7.791	0.142	0.166
Story6	0.059	-7.720	-0.007	-7.478	0.066	-0.243
Story5	0.059	-7.720	-0.006	-7.035	0.065	-0.686
Story4	0.059	-7.720	-0.004	-6.605	0.063	-1.115
Story3	0.059	-7.720	-0.001	-6.254	0.060	-1.467
Story2	0.044	-7.564	0.006	-6.299	0.038	-1.264
Story1	0.044	-7.569	0.000	0.000	0.044	-7.569

Eksentrisitas dari torsi tak terduga adalah eksentrisitas tambahan sebesar 5% dari dimensi arah tegak lurus panjang bentang struktur bangunan di mana gaya gempa bekerja. Berikut ini merupakan data eksentrisitas tak terduga.

Tabel 4.12 Data Eksentrisitas Torsi Tak Terduga

Lantai	Panjang bentang total sumbu-y (Ly)-(mm)	Panjang bentang total sumbu-x (Lx)-(mm)	0.05 Ly (mm)	0.05 Lx (mm)
Story7	12000	59850	600	2992.5
Story6	12000	59850	600	2992.5
Story5	12000	59850	600	2992.5
Story4	12000	59850	600	2992.5
Story3	12000	59850	600	2992.5
Story2	12000	59850	600	2992.5
Story1	12000	59850	600	2992.5

Berdasarkan SNI 03-1726-2013 pasal 7.8.4.2, jika gaya gempa diterapkan secara serentak dalam dua arah ortogonal, perpindahan pusat massa 5% yang diisyaratkan tidak perlu diterapkan dalam kedua arah ortogonal pada saat bersamaan, tetapi harus diterapkan dalam arah yang menghasilkan pengaruh lebih besar.

Eksentrisitas torsi tak terduga harus dikalikan dengan faktor pembesaran momen torsi tak terduga (A). Faktor pembesaran torsi tak terduga (A) ditentukan dari persamaan berikut ini.

$$A_x = \left(\frac{\delta_{\max}}{1,2 \delta_{\text{avg}}} \right)^2$$

Penjelasan rumus ini mengacu pada BAB III mengenai eksentrisitas dan torsi.

Nilai-nilai dari δ_{\max} dan δ_{avg} diambil dari kombinasi terbesar. Nilai tersebut dapat dikeluarkan langsung dari output

ETABS. Berikut ini merupakan nilai-nilai dari δ_{\max} , δ_{avg} , dan A_x untuk pembebanan gempa arah x.

Tabel 4.13 Nilai dari δ_{\max} , δ_{avg} , dan A_x untuk gempa arah x

Story	δ_{\max} (mm)	δ_{avg} (mm)	$1,2 \delta_{\text{avg}}$ (mm)	A_x $(\delta_{\max}/1,2 \delta_{\text{avg}})^2$	Kontrol Torsi
Story7	37.7	37.4	44.88	0.706	Tanpa Ketidakberaturan Torsi
Story6	31.1	30.9	37.08	0.703	Tanpa Ketidakberaturan Torsi
Story5	24	23.8	28.56	0.706	Tanpa Ketidakberaturan Torsi
Story4	16.8	16.7	20.04	0.703	Tanpa Ketidakberaturan Torsi
Story3	10	9.9	11.88	0.709	Tanpa Ketidakberaturan Torsi
Story2	4.2	4.2	5.04	0.694	Tanpa Ketidakberaturan Torsi
Story1	0.6	1	1.20	0.250	Tanpa Ketidakberaturan Torsi

Dilihat pada tabel 6.13 di atas terlihat bahwa $\delta_{\max} < 1,2 \delta_{\text{avg}}$ sehingga struktur bangunan tersebut termasuk ke dalam kategori tanpa ketidakberaturan torsi dengan faktor amplifikasi (A_x) yang memiliki nilai kurang dari satu sehingga untuk perhitungan eksentrisitas desain searah sumbu y (e_{dy}) menggunakan faktor amplifikasi (A_x) dengan nilai 1.

$$e_{dy} = e_{0y} + (0,05 Ly) \quad A_x = e_{0y} + (0,05 Ly)$$

$$e_{dy} = e_{0y} - (0,05 Ly) \quad A_x = e_{0y} - (0,05 Ly)$$

Sehingga, masukan data eksentrisitas sebesar 0,05 di awal pada ETABS sudah sesuai.

Berikut ini merupakan nilai-nilai dari δ_{\max} , δ_{avg} , dan A_y untuk pembebanan gempa arah y.

Tabel 4.14 Nilai dari δ_{\max} , δ_{avg} , dan A_y untuk gempa arah y

Story	δ_{\max} (mm)	δ_{avg} (mm)	$1,2 \delta_{\text{avg}}$ (mm)	A_x $(\delta_{\max}/1,2 \delta_{\text{avg}})^2$	Kontrol Torsi
Story7	58.6	56.2	67.44	0.755	Tanpa Ketidakberaturan Torsi
Story6	49.4	47.7	57.24	0.745	Tanpa Ketidakberaturan Torsi
Story5	39.3	38	45.60	0.743	Tanpa Ketidakberaturan Torsi
Story4	28.2	27.3	32.76	0.741	Tanpa Ketidakberaturan Torsi
Story3	16.9	16.4	19.68	0.737	Tanpa Ketidakberaturan Torsi
Story2	7	6.5	7.80	0.805	Tanpa Ketidakberaturan Torsi
Story1	1	1	1.20	0.694	Tanpa Ketidakberaturan Torsi

Dilihat pada tabel 6.14 di atas terlihat bahwa $\delta_{\max} < 1,2 \delta_{\text{avg}}$ sehingga struktur bangunan tersebut termasuk ke dalam kategori tanpa ketidakberaturan torsi dengan faktor amplifikasi (A_y) yang memiliki nilai kurang dari satu sehingga untuk perhitungan eksentrisitas desain searah sumbu x (e_{dx}) menggunakan faktor amplifikasi (A_x) dengan nilai 1.

$$e_{dx} = e_{0x} + (0,05 L_x) A_x = e_{0x} + (0,05 L_x)$$

$$e_{dx} = e_{0x} - (0,05 L_x) A_x = e_{0x} - (0,05 L_x)$$

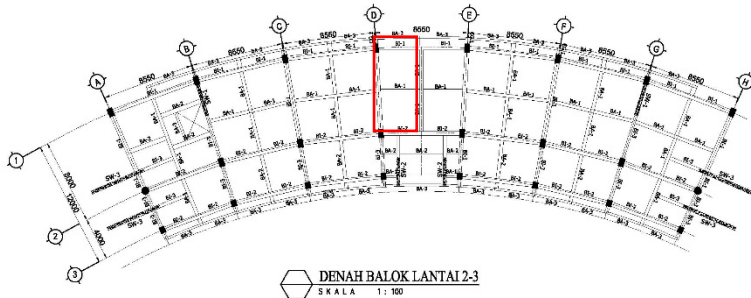
Sehingga, masukan data eksentrisitas sebesar 0,05 di awal pada ETABS sudah sesuai.

4.3. Analisa Struktur Primer Eksisting

4.3.1. Balok Induk

4.3.1.1. BI-1 Tipe 1

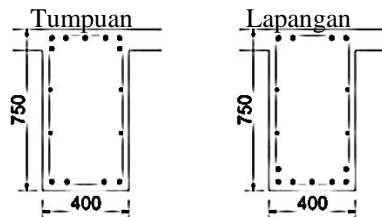
BI-1 berada di lantai 2 dan yang memiliki gaya dalam paling besar.



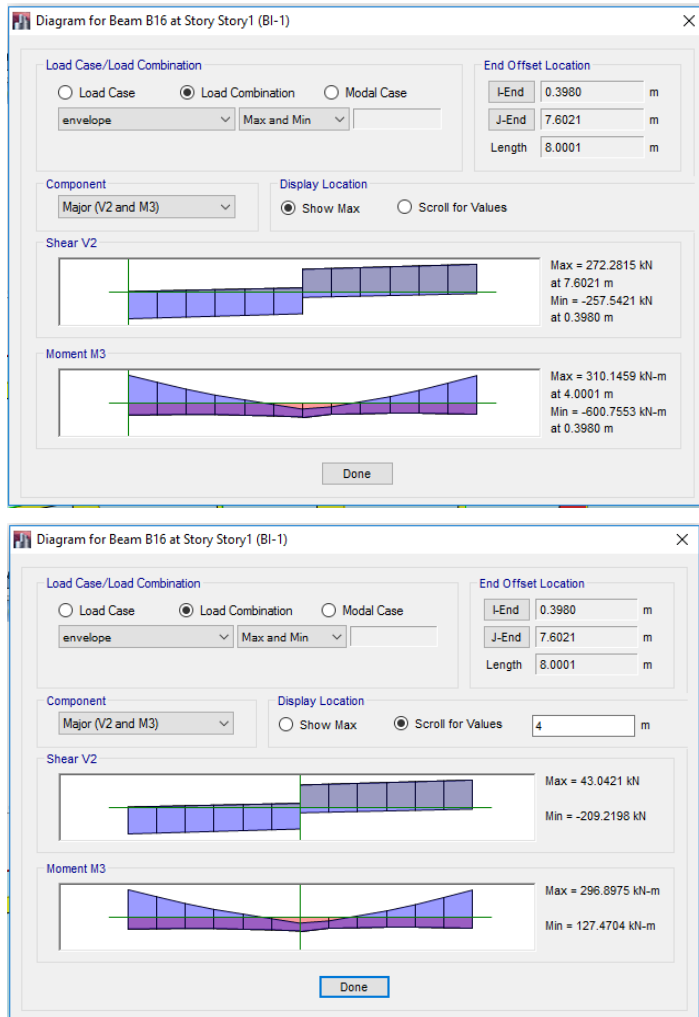
Gambar 4.12. Lokasi balok yang ditinjau

Data Eksisting BI-1

- Bentang = 8000 mm
- Lebar balok = 400 mm
- Tinggi balok = 750 mm
- Tebal decking = 30 mm
- Diameter lentur = 22 mm
- Diameter sengkang = 13 mm
- Jarak tulangan lapis = 25 mm



Gambar 4.13. Penampang Balok



Gambar 4.14. Momen ultimit balok

Kombinasi terbesar merupakan akibat kombinasi 1,2D+1E+1L.

- Momen tumpuan Max : 600,76 kNm
- Momen lapangan Max : 296,98 kNm

Periksa persyaratan dimensi penampang untuk komponen lentur bagian SRPMK sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.5.1:

- a. $l_n \geq 4d$
 l_n = bentang bersih balok dari muka kolom ke muka kolom
 Ukuran kolom pendukung balok BI-1 adalah 800 x 500 mm².
 $l_n = 8000 - 800 = 7200$ mm
 Menggunakan 2 lapis tulangan simetris
 $d = 750\text{mm} - 30\text{mm} - 13\text{mm} - 22\text{mm} - 12,5\text{mm} = 672,5\text{mm}$
 $4d (= 4 \times 672,5 = 2690 \text{ mm})$
 $l_n = 7200 \text{ mm} \geq 4d = 2690 \text{ mm}$ (OK)
- b. $b_w \geq 0,3h$ atau 250 mm
 $b_w = 400 \text{ mm} > 250 \text{ mm}$ (OK)
 $0,3h = 0,3(750) = 225 \text{ mm} < b_w$ (OK)

Lebar penampang, b_w , tidak boleh melebihi lebar kolom pendukung ditambah jarak pada tiap sisi kolom yang sama atau lebih kecil dari nilai terkecil antara lebar kolom atau $\frac{3}{4}$ kali tinggi kolom. Ukuran kolom pendukung balok BI-1 adalah 800 x 500 mm², maka:

$$b_w = 400 \text{ mm} < 800 + 2 \left(\frac{3}{4} \times 800 \right) = 2000 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

1. Tulangan Lentur

a. Daerah Tumpuan

- Tulangan Lentur Tarik

Berdasarkan data yang udah diperoleh dari struktur eksisting Tulangan Lentur Tarik pada balok BI-1 dipakai 7D22

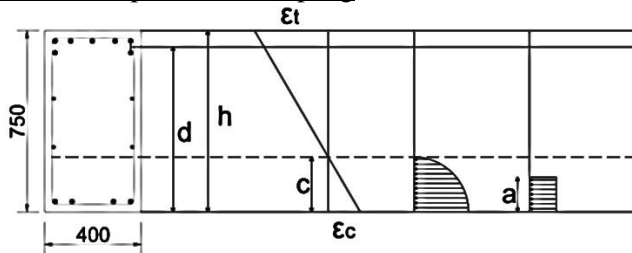
$$\text{As pakai} = n \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot d^2$$

$$\text{As pakai} = 7 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 22^2$$

$$\text{As pakai} = 2660,93 \text{ mm}^2$$

Digunakan 2 lapis tulangan, dengan kombinasi 5D22 (lapis atas) dan 2D22 (lapis bawah). Spasi bersih antarlapis tulangan diambil 25 mm, jadi nilai d tetap seperti di awal:

$$d = 750 \text{ mm} - 30 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - 22 \text{ mm} - 12,5 \text{ mm} = 672,5 \text{ mm}$$

Kontrol Kapasitas Penampang:

- Tinggi blok tegangan persegi ekuivalen

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{2660,93 \times 400}{0,85 \times 35 \times 400} = 89,44 \text{ mm}$$

- Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,85 - (0,05 \times (f'_c - 28) / 7) \\ &= 0,85 - (0,05 \times (35 - 28) / 7) = 0,8 \end{aligned}$$

$$c = \frac{a}{0,8} = \frac{89,44}{0,8} = 111,8 \text{ mm}$$

- Regangan tarik

$$\epsilon_t = 0,003 \times \left(\frac{d-c}{c} \right) = 0,003 \times \left(\frac{672,5 - 111,8}{111,8} \right) = 0,015 > 0,005$$

Dipakai $\phi = 0,9$

$$\phi M_n = \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{1}{2} a \right)$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 2660,93 \times 400 \times \left(672,5 - \frac{1}{2} \times 89,4 \right) \\ &= 601372308,7 \text{ Nmm} = 601,37 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 601,37 \text{ kNm} > M_u = 600,76 \text{ kNm}$$

- Tulangan Lentur Tekan

Berdasarkan data yang udah diperoleh dari struktur eksisting Tulangan Lentur Tarik pada balok BI-1 dipakai 4D22

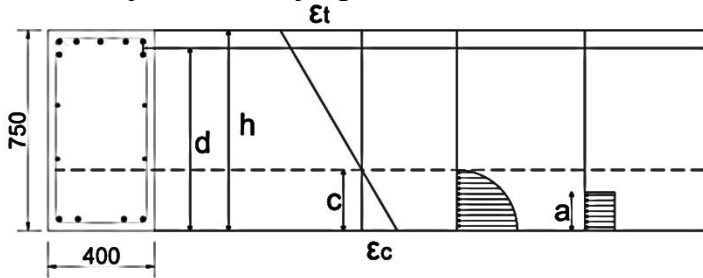
$$A_s \text{ pakai} = n \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot d^2$$

$$A_s \text{ pakai} = 4 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 22^2$$

$$A_s \text{ pakai} = 1520,53 \text{ mm}^2$$

Digunakan 1 lapis tulangan. Jadi nilai d tetap seperti di awal:
 $d = 750 \text{ mm} - 30 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - \frac{1}{2} \cdot 22 \text{ mm} = 696 \text{ mm}$

Kontrol Kapasitas Penampang:



- Tinggi blok tegangan persegi ekivalen

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{1520,53 \times 400}{0,85 \times 35 \times 400} = 51,14 \text{ mm}$$

- Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$\beta_1 = 0,85 - (0,05 \times (f'_c - 28) / 7) \\ = 0,85 - (0,05 \times (35 - 28) / 7) = 0,8$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{51,14}{0,8} = 63,925 \text{ mm}$$

- Regangan tarik

$$\epsilon_t = 0,003 \times \left(\frac{d - c}{c} \right) = 0,003 \times \left(\frac{696 - 63,925}{63,925} \right) = 0,029 > 0,005$$

Dipakai $\phi = 0,9$

$$\phi M_n = \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{1}{2} a \right)$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 1520,53 \times 400 \times \left(696 - \frac{1}{2} \times 51,14 \right) \\ = 366987214 \text{ Nmm} = 366,978 \text{ KNm}$$

$$\phi M_n = 366,987 \text{ KNm} > M_u = 300,38 \text{ KNm (OK)}$$

- Tulangan Lentur Tarik

Berdasarkan data yang udah diperoleh dari struktur eksisting Tulangan Lentur Tarik pada balok BI-1 dipakai 7D22

$$As \text{ pakai} = n \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot d^2$$

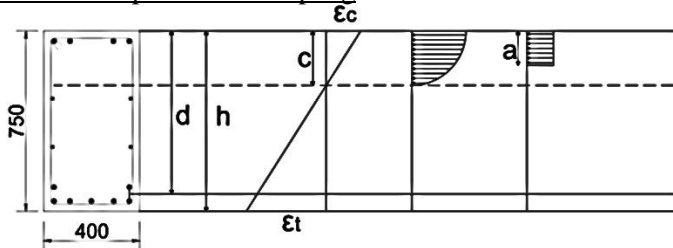
$$As \text{ pakai} = 7 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 22^2$$

$$As \text{ pakai} = 2660,93 \text{ mm}^2$$

Digunakan 2 lapis tulangan, dengan kombinasi 5D22 (lapis atas) dan 2D22 (lapis bawah). Spasi bersih antarlapis tulangan diambil 25 mm, jadi nilai d tetap seperti di awal:

$$d = 750 \text{ mm} - 30 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - 22 \text{ mm} - 12,5 \text{ mm} = 672,5 \text{ mm}$$

Kontrol Kapasitas Penampang:



- Tinggi blok tegangan persegi ekuivalen

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{2660,93 \times 400}{0,85 \times 35 \times 400} = 89,44 \text{ mm}$$

- Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$\beta_1 = 0,85 - (0,05 \times (f'_c - 28) / 7)$$

$$= 0,85 - (0,05 \times (35 - 28) / 7) = 0,8$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{89,44}{0,8} = 111,8 \text{ mm}$$

- Regangan tarik

$$\epsilon_t = 0,003 \times \left(\frac{d - c}{c} \right) = 0,003 \times \left(\frac{672,5 - 111,8}{111,8} \right) = 0,015 > 0,005$$

Dipakai $\phi = 0,9$

$$\phi M_n = \phi \times As \times f_y \times \left(d - \frac{1}{2} a \right)$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 2660,93 \times 400 \times \left(672,5 - \frac{1}{2} \times 89,4 \right)$$

$$= 601372308,7 \text{ Nmm} = 601,37 \text{ KNm}$$

$$\phi M_n = 601,37 \text{ KNm} > M_u = 296,98 \text{ KNm (OK)}$$

- Tulangan Lentur Tekan

Berdasarkan data yang udah diperoleh dari struktur eksisting Tulangan Lentur Tarik pada balok BI-1 dipakai 4D22

$$A_s \text{ pakai} = n \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot d^2$$

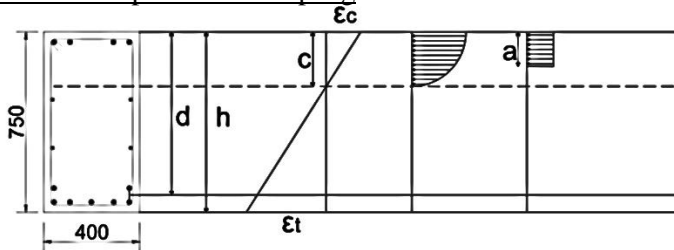
$$A_s \text{ pakai} = 4 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 22^2$$

$$A_s \text{ pakai} = 1520,53 \text{ mm}^2$$

Digunakan 1 lapis tulangan. Jadi nilai d tetap seperti di awal:

$$d = 750 \text{ mm} - 30 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - \frac{1}{2} \cdot 22 \text{ mm} = 696 \text{ mm}$$

Kontrol Kapasitas Penampang:



- Tinggi balok tegangan persegi ekivalen

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{1520,53 \times 400}{0,85 \times 35 \times 400} = 51,14 \text{ mm}$$

- Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$\beta_1 = 0,85 - (0,05 \times (f'_c - 28) / 7)$$

$$= 0,85 - (0,05 \times (35 - 28) / 7) = 0,8$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{51,14}{0,8} = 63,925 \text{ mm}$$

- Regangan tarik

$$\epsilon_t = 0,003 \times \left(\frac{d - c}{c} \right) = 0,003 \times \left(\frac{696 - 63,925}{63,925} \right) = 0,0297 > 0,005$$

Dipakai $\phi = 0,9$

$$\phi M_n = \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{1}{2}a\right)$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 1520,53 \times 400 \times \left(696 - \frac{1}{2} \times 51,14\right)$$

$$= 366987214 \text{ Nmm} = 366,978 \text{ KNm}$$

$$\phi M_n = 366,987 \text{ KNm} > M_u = 148,49 \text{ KNm (OK)}$$

2. Tulangan Geser

a. Penulangan Geser Lapangan Balok

Menurut SNI-2847-2013 pasal 21.3.3.1 bahwa gaya geser rencana V_u harus ditentukan dari peninjauan gaya statik pada bagian komponen struktur antara dua muka tumpuan. Momen-momen dengan tanda berlawanan sehubungan dengan kuat lentur maksimum, M_n harus dianggap bekerja pada muka tumpuan dan komponen tersebut dibebani dengan beban gravitasi terfaktor di sepanjang bentangnya.

Jumlah gaya lintang yang timbul akibat termobilisasinya kuat lentur nominal komponen struktur pada setiap ujung bentang bersihnya dan akibat beban gravitasi terfaktor.

$$V_{ki} = \frac{M_{pr}^- + M_{pr}^+}{l_n} + \frac{q_u \times l_n}{2}$$

$$V_{ka} = \frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{l_n} - \frac{q_u \times l_n}{2}$$

Nilai M_{pr} dihitung sebagai berikut:

Untuk tulangan 7D22 di sisi atas:

$$a = \frac{A_s \times 1,25 f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{2660,93 \times 1,25 \times 400}{0,85 \times 35 \times 400} = 111,80 \text{ mm}$$

$$M_{pr}^- = A_s (1,25 f_y) \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{pr}^- = 2660,93 (1,25 \times 400) \left(672,5 - \frac{111,80}{2}\right)$$

$$M_{pr}^- = 820364719,0 \text{ Nmm} = 820,36 \text{ kNm}$$

Untuk tulangan 4D22 di sisi bawah:

$$a = \frac{A_s \times 1,25 f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{1520,53 \times 1,25 \times 400}{0,85 \times 35 \times 400} = 63,89 \text{ mm}$$

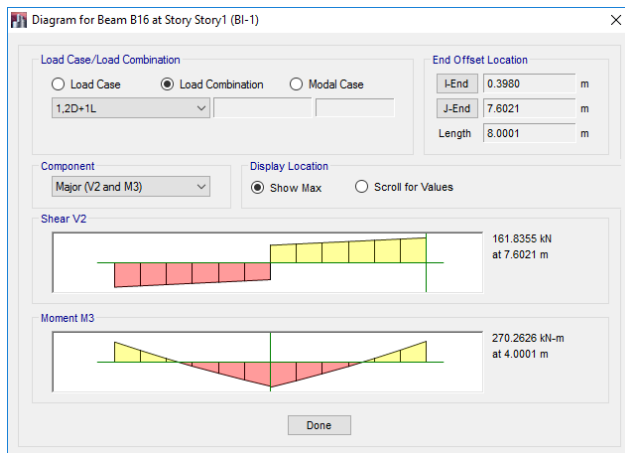
$$M_{pr}^+ = A_s (1,25 f_y) \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_{pr}^+ = 1520,53 (1,25 \times 400) \left(696 - \frac{63,89}{2} \right)$$

$$M_{pr}^+ = 504857774,6 \text{ Nmm} = 504,86 \text{ kNm}$$

Dengan q_u merupakan beban akibat kombinasi 1,2D+1L. Sehingga $q_u \times l_n/2$ dapat dianggap sebagai V_u akibat kombinasi 1,2D+1L pada ETABS.

$$V_u = 161,84 \text{ kN}$$



Gambar 4.16. Gaya geser tumpuan ultimit

$$V_{ki} = \frac{M_{pr}^- + M_{pr}^+}{l_n} + V_u = \frac{820,36 + 504,86}{7,2} + 161,84 = 345,898 \text{ kN}$$

$$V_{ka} = \frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{l_n} - V_u = \frac{820,36 + 504,86}{7,2} - 161,84 = 22,218 \text{ kN}$$

Perencanaan gaya geser pada sendi plastis:

Gaya geser maksimum yang ditimbulkan oleh beban gempa adalah:

$$\frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{I_n} = \frac{820,36 + 504,86}{7,2} = 184,058 \text{ kN}$$

Di mana nilai ini lebih besar daripada 50% gaya geser total (mengacu pada gambar 6.4)

$$\frac{1}{2} \times 161,84 = 80,92 \text{ kN}$$

Sehingga V_c dapat diambil sama dengan nol. Maka:

$$V_u = \emptyset V_s + \emptyset V_c$$

$$V_u = \emptyset V_s + 0$$

$$V_s = \frac{V_u}{\emptyset} = \frac{161,84}{0,75} = 215,787 \text{ kN}$$

$$V_s < 0,66 \sqrt{f_c} \times b_w \times d$$

$$215,787 \text{ kN} < 0,66 \sqrt{30} \times 400 \times 672,5 \times 10^{-3}$$

$$215,787 \text{ kN} < 972,43 \text{ kN} \text{ (OK, penampang mencukupi)}$$

Jika dipakai sengkang tertutup dengan diameter 13 mm (2 kaki), maka jarak antar sengkang, s , adalah:

$$s = \frac{A_s \times f_y \times d}{V_s} = \frac{2(132,73) \times 400 \times 672,5}{215,787 \times 10^3} = 330,972 \text{ mm}$$

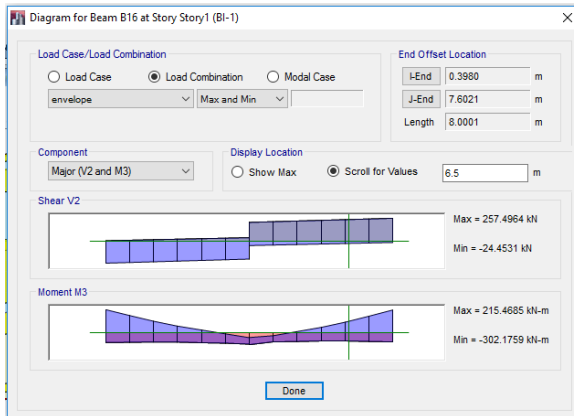
Jarak maksimum sengkang tertutup sepanjang $2h$ ($2 \times 750 = 1500$ mm) tidak boleh melebihi nilai terkecil dari:

- $d/4 = 672,5/4 = 168,13 \text{ mm}$
- $6d_b = 6(22) = 132 \text{ mm}$
- 150 mm

Sehingga tulangan sengkang terpasang D13-130 mm hingga sepanjang 1500 mm dari muka tumpuan mencukupi untuk menahan gaya geser.

b. Penulangan Geser Lapangan Balok

Pada jarak 1500 mm dari muka tumpuan hingga ke bagian lapangan, bekerja gaya geser sebesar:



Gambar 4.17. Gaya geser lapangan ultimit

Pada jarak 1.500 mm dari muka tumpuan hingga ke bagian lapangan, bekerja gaya geser sebesar:

$V_u = 257,496 \text{ kN}$ (gambar 7.10)

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f'_c}b_w d$$

$$V_c = 0,17(1)(\sqrt{30})(400)(672,5) \times 10^{-3} = 250,47 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{257,496}{0,75} - 250,47 = 92,858 \text{ kN}$$

$$V_s \leq 0,33\sqrt{f'_c}b_w d$$

$$92,858 \text{ kN} \leq 0,33\sqrt{30} \times 400 \times 672,5 \times 10^{-3}$$

$$92,858 \text{ kN} \leq 486,21 \text{ kN} \text{ (OK)}$$

Jika digunakan $d_b = 13 \text{ mm}$, maka jarak ditentukan dari nilai yang terkecil antara:

$$\bullet s_1 = A_v f_{yt} \frac{d}{V_s} = 2(132,73)(400) \left(\frac{672,5}{8,02 \times 10^3} \right) = 8903,84 \text{ mm}$$

$$\bullet s_2 = \frac{d}{2} = \frac{672,5}{2} = 336,25 \text{ mm}$$

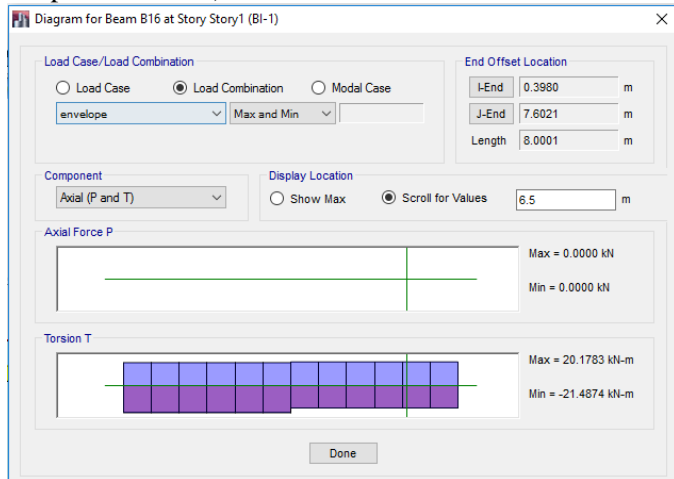
$$\bullet s_3 = A_v \frac{f_{yt}}{0,35b_w} = 2(132,73) \times \frac{400}{0,35 \times 400} = 758,46 \text{ mm}$$

- $s_4=600$ mm

Jadi tulangan sengkang terpasang D13-180 mampu menahan gaya geser.

3. Tulangan Puntir / Torsi

Pengaruh puntir/torsi dapat diabaikan apabila momen puntir yang terjadi tidak melebihi persamaan dibawah ini (SNI 2847-2013 pasal 11.5.2.2):



Gambar 4.18. Torsi yang terjadi pada BI-1

$$\begin{aligned}
 Tu &= \frac{\phi \times \sqrt{f_c'}}{3} \times \left(\frac{A_{CP}^2}{P_{CP}} \right) \\
 &= \frac{0,75 \times \sqrt{30 \text{ Mpa}}}{3} \times \left(\frac{(800 \times 500 \text{ mm}^2)^2}{2(800 + 500) \text{ mm}} \right) \\
 &= 60858061,9 \text{ Nmm} = 60,858 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Torsi yang terjadi pada BI-1 sebesar 15,478 kNm.

Kontrol: $21,49 \text{ kNm} < 60,858 \text{ kNm}$ (Torsi diabaikan)

Jadi, berdasarkan analisa struktur penulngn balok BI-1 diatas, dapat disimpulkan bahwa tulangan pada balok eksisting sudah cukup kuat, sehingga balok tidak memerlukan perkuatan.

4.3.1.2. BI-1 tipe 2

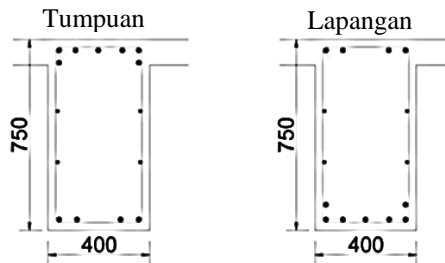
Bi-1 terletak di lantai 3 dan yang memiliki gaya dalam palingbesar.



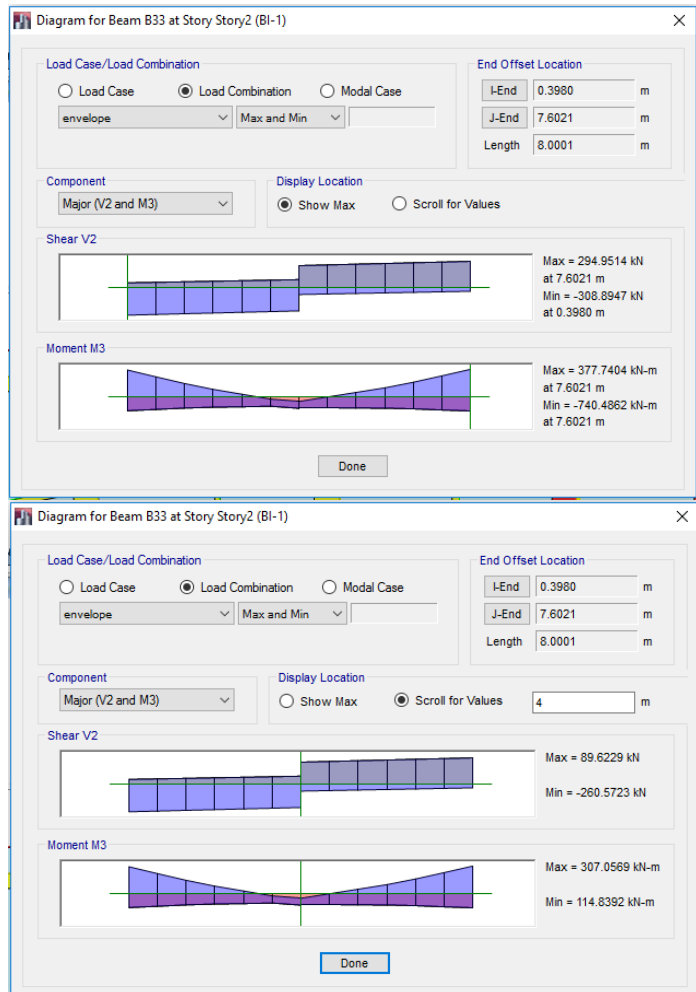
Gambar 4.19. Lokasi balok yang ditinjau

Data Eksisting BI-1

- Bentang = 8000 mm
- Lebar balok = 400 mm
- Tinggi balok = 750 mm
- Tebal decking = 30 mm
- Diameter lentur = 22 mm
- Diameter sengkang = 13 mm
- Jarak tulangan lapis = 25 mm



Gambar 4.20. Penampang Balok



Gambar 4.21. Momen ultimit balok

Kombinasi terbesar merupakan akibat kombinasi 1,2D+1E+1L.

- Momen tumpuan Max : 740,486 kNm
- Momen lapangan Max : 307,057 kNm

Periksa persyaratan dimensi penampang untuk komponen lentur bagian SRPMK sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.5.1:

c. $l_n \geq 4d$

l_n = bentang bersih balok dari muka kolom ke muka kolom

Ukuran kolom pendukung balok BI-1 adalah 800 x 500 mm².

$$l_n = 8000 - 800 = 7200 \text{ mm}$$

Menggunakan 2 lapis tulangan simetris

$$d = 750 \text{ mm} - 30 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - 22 \text{ mm} - 12,5 \text{ mm} = 672,5 \text{ mm}$$

$$4d (= 4 \times 672,5) = 2690 \text{ mm}$$

$$l_n = 7200 \text{ mm} \geq 4d = 2690 \text{ mm (OK)}$$

d. $b_w \geq 0,3h$ atau 250 mm

$$b_w = 400 \text{ mm} > 250 \text{ mm (OK)}$$

$$0,3h = 0,3(750) = 225 \text{ mm} < b_w \text{ (OK)}$$

Lebar penampang, b_w , tidak boleh melebihi lebar kolom pendukung ditambah jarak pada tiap sisi kolom yang sama atau lebih kecil dari nilai terkecil antara lebar kolom atau $\frac{3}{4}$ kali tinggi kolom. Ukuran kolom pendukung balok BI-1 adalah 800 x 500 mm², maka:

$$b_w = 400 \text{ mm} < 800 \text{ mm} + 2 \left(\frac{3}{4} \times 800 \right) = 2000 \text{ mm (OK)}$$

1. Tulangan Lentur

a. Daerah Tumpuan

- Tulangan Lentur Tarik

Berdasarkan data yang udah diperoleh dari struktur eksisting Tulangan Lentur Tarik pada balok BI-1 dipakai 7D22

$$\text{As pakai} = n \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot d^2$$

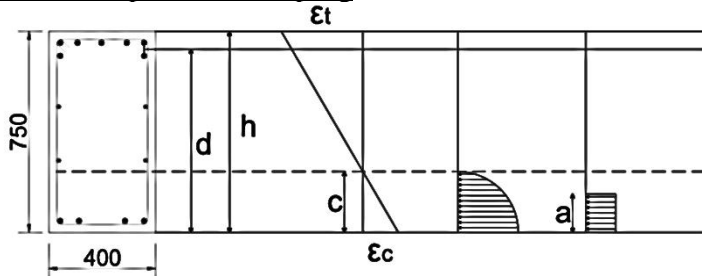
$$\text{As pakai} = 7 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 22^2$$

$$\text{As pakai} = 2660,93 \text{ mm}^2$$

Digunakan 2 lapis tulangan, dengan kombinasi 5D22 (lapis atas) dan 2D22 (lapis bawah). Spasi bersih antarlapis tulangan diambil 25 mm, jadi nilai d tetap seperti di awal:

$$d = 750 \text{ mm} - 30 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - 22 \text{ mm} - 12,5 \text{ mm} = 672,5 \text{ mm}$$

Kontrol Kapasitas Penampang:



- Tinggi blok tegangan persegi ekuivalen

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{2660,93 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400} = 89,44 \text{ mm}$$

- Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$\beta_1 = 0,85 - (0,05 \times (f'_c - 28) / 7) \\ = 0,85 - (0,05 \times (30 - 28) / 7) = 0,8$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{89,44}{0,8} = 111,8 \text{ mm}$$

- Regangan tarik

$$\epsilon_t = 0,003 \times \left(\frac{d-c}{c} \right) = 0,003 \times \left(\frac{672,5 - 111,8}{111,8} \right) = 0,015 > 0,005$$

Dipakai $\phi = 0,9$

$$\phi M_n = \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{1}{2} a \right)$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 2660,93 \times 400 \times \left(672,5 - \frac{1}{2} \times 89,4 \right) \\ = 601372308,7 \text{ Nmm} = 601,37 \text{ KNm}$$

$$\phi M_n = 601,37 \text{ KNm} < M_u = 740,486 \text{ KNm (NOK)}$$

- Tulangan Lentur Tekan

Berdasarkan data yang udah diperoleh dari struktur eksisting
Tulangan Lentur Tarik pada balok BI-1 dipakai 4D22

$$A_s \text{ pakai} = n \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot d^2$$

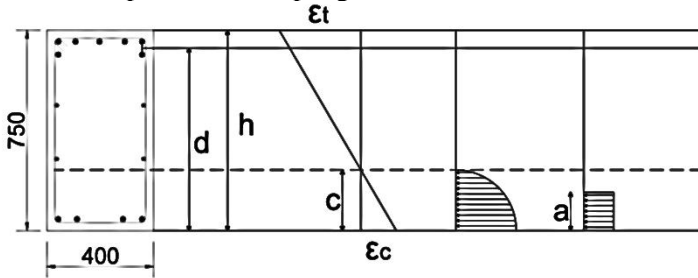
$$A_s \text{ pakai} = 4 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 22^2$$

$$A_s \text{ pakai} = 1520,53 \text{ mm}^2$$

Digunakan 1 lapis tulangan. Jadi nilai d tetap seperti di awal:

$$d = 750 \text{ mm} - 30 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - \frac{1}{2} \cdot 22 \text{ mm} = 696 \text{ mm}$$

Kontrol Kapasitas Penampang:



- Tinggi blok tegangan persegi ekuivalen

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{1520,53 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400} = 51,14 \text{ mm}$$

- Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,85 - (0,05 \times (f'_c - 28) / 7) \\ &= 0,85 - (0,05 \times (30 - 28) / 7) = 0,8 \end{aligned}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{51,14}{0,8} = 63,925 \text{ mm}$$

- Regangan tarik

$$\epsilon_t = 0,003 \times \left(\frac{d-c}{c} \right) = 0,003 \times \left(\frac{696-63,925}{63,925} \right) = 0,0297 > 0,005$$

Dipakai $\phi = 0,9$

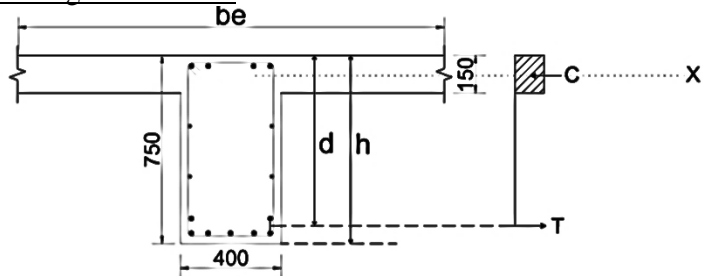
$$\phi M_n = \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{1}{2} a \right)$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 1520,53 \times 400 \times \left(696 - \frac{1}{2} \times 51,14 \right) \\ &= 366987214 \text{ Nmm} = 366,978 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 366,987 \text{ KNm} < M_u = 370,243 \text{ KNm} \text{ (NOK)}$$

Daerah Lapangan

Kontrol Pengaruh Balok T



Gambar 4.22. Asumsi Balok T

$l_n = 7200 \text{ mm}$

Momen terfaktor yang bekerja pada balok (gambar 7.6):

$M_u \text{ lapangan} = 307,057 \text{ kNm}$

Lebar efektif balok T, b_e , yang diambil dari nilai terkecil antara:

a. $b_w + 2(l_n/2) = 400 + 2(7200/2) = 7600 \text{ mm}$

b. $b_w + 2(8 t_f) = 500 + 2(8 \times 150) = 2900 \text{ mm}$

c. $l/4 = 8000/4 = 2000 \text{ mm}$

Diambil $b_e = 2000 \text{ mm}$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b_e}$$

$$= \frac{2660,93 \times 400}{0,85 \times 35 \times 2000}$$

$$= 17,89 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{17,89}{0,8}$$

$$= 22,36 \text{ mm}$$

$C = 22,36 \text{ mm} < t_f = 150 \text{ mm} \rightarrow \text{Balok T palsu}$

Perhitungan dapat dilakukan seperti penampang balok persegi.

- Tulangan Lentur Tarik

Berdasarkan data yang udah diperoleh dari struktur eksisting Tulangan Lentur Tarik pada balok BI-1 dipakai 7D22

$$As \text{ pakai} = n \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot d^2$$

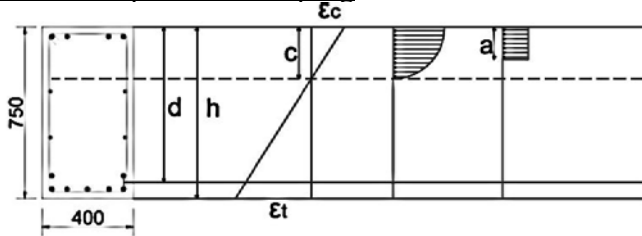
$$As \text{ pakai} = 7 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 22^2$$

$$As \text{ pakai} = 2660,93 \text{ mm}^2$$

Digunakan 2 lapis tulangan, dengan kombinasi 5D22 (lapis atas) dan 2D22 (lapis bawah). Spasi bersih antarlapis tulangan diambil 25 mm, jadi nilai d tetap seperti di awal:

$$d = 750 \text{ mm} - 30 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - 22 \text{ mm} - 12,5 \text{ mm} = 672,5 \text{ mm}$$

Kontrol Kapasitas Penampang:



- Tinggi blok tegangan persegi ekuivalen

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{2660,93 \times 400}{0,85 \times 35 \times 400} = 89,44 \text{ mm}$$

- Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$\beta_1 = 0,85 - (0,05 \times (f'_c - 28) / 7) \\ = 0,85 - (0,05 \times (35 - 28) / 7) = 0,8$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{89,44}{0,8} = 111,8 \text{ mm}$$

- Regangan tarik

$$\epsilon_t = 0,003 \times \left(\frac{d-c}{c} \right) = 0,003 \times \left(\frac{672,5 - 111,8}{111,8} \right) = 0,015 > 0,005$$

Dipakai $\phi = 0,9$

$$\phi M_n = \phi \times As \times f_y \times \left(d - \frac{1}{2} a \right)$$

$$= 0,9 \times 2660,93 \times 400 \times \left(672,5 - \frac{1}{2} \times 89,4 \right) \\ = 601372308,7 \text{ Nmm} = 601,37 \text{ KNm} = 307,243 \text{ KNm (OK)}$$

- Tulangan Lentur Tekan

Berdasarkan data yang udah diperoleh dari struktur eksisting Tulangan Lentur Tarik pada balok BI-1 dipakai 4D22

$$As \text{ pakai} = n \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot d^2$$

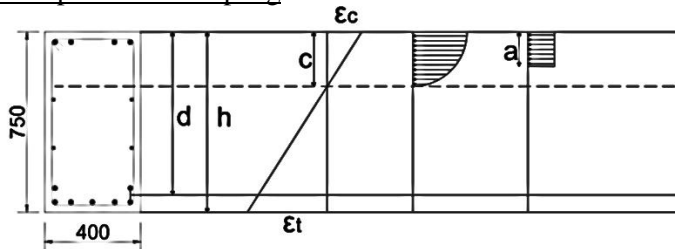
$$As \text{ pakai} = 4 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 22^2$$

$$As \text{ pakai} = 1520,53 \text{ mm}^2$$

Digunakan 1 lapis tulangan. Jadi nilai d tetap seperti di awal:

$$d = 750 \text{ mm} - 30 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - \frac{1}{2} \cdot 22 \text{ mm} = 696 \text{ mm}$$

Kontrol Kapasitas Penampang:



- Tinggi blok tegangan persegi ekuivalen

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{1520,53 \times 400}{0,85 \times 35 \times 400} = 51,14 \text{ mm}$$

- Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$\beta_1 = 0,85 - (0,05 \times (f'_c - 28) / 7)$$

$$= 0,85 - (0,05 \times (35 - 28) / 7) = 0,8$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{51,14}{0,8} = 63,925 \text{ mm}$$

- Regangan tarik

$$\epsilon_t = 0,003 \times \left(\frac{d-c}{c} \right) = 0,003 \times \left(\frac{696 - 63,925}{63,925} \right) = 0,0297 > 0,005$$

Dipakai $\phi = 0,9$

$$\phi M_n = \phi \times As \times f_y \times \left(d - \frac{1}{2} a \right)$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 1520,53 \times 400 \times \left(696 - \frac{1}{2} \times 51,14 \right)$$

$$= 366987214 \text{ Nmm} = 366,978 \text{ KNm}$$

$$\phi M_n = 366,987 \text{ KNm} > M_u = 153,62 \text{ KNm (OK)}$$

Jadi, Balok BI-1 pada As.e, Elv.+12m membutuhkan perkuatan di bagian tumpuan, karena Tulangan lentur tarik dan tekan pada tumpuan tidak mampu menahan gaya dalam dari program bantu ETABS 2013.

2. Tulangan Geser

a. Penulangan Geser Tumpuan Balok

Menurut SNI-2847-2013 pasal 21.3.3.1 bahwa gaya geser rencana V_u harus ditentukan dari peninjauan gaya statik pada bagian komponen struktur antara dua muka tumpuan. Momen-momen dengan tanda berlawanan sehubungan dengan kuat lentur maksimum, M_n harus dianggap bekerja pada muka tumpuan dan komponen tersebut dibebani dengan beban gravitasi terfaktor di sepanjang bentangnya.

Nilai Gaya Geser Rencana pada Balok

Jumlah gaya lintang yang timbul akibat termobilisasinya kuat lentur nominal komponen struktur pada setiap ujung bentang bersihnya dan akibat beban gravitasi terfaktor.

$$V_{ki} = \frac{M_{pr}^- + M_{pr}^+}{l_n} + \frac{q_u \times l_n}{2}$$

$$V_{ka} = \frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{l_n} - \frac{q_u \times l_n}{2}$$

Nilai M_{pr} dihitung sebagai berikut:

Untuk tulangan 7D22 di sisi atas:

$$a = \frac{A_s \times 1,25 f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{2660,93 \times 1,25 \times 400}{0,85 \times 35 \times 400} = 111,80 \text{ mm}$$

$$M_{pr}^- = A_s (1,25 f_y) \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_{pr}^- = 2660,93 (1,25 \times 400) \left(672,5 - \frac{111,80}{2} \right)$$

$$M_{pr}^- = 820364719,0 \text{ Nmm} = 820,36 \text{ kNm}$$

Untuk tulangan 4D22 di sisi bawah:

$$a = \frac{A_s \times 1,25 f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{1520,53 \times 1,25 \times 400}{0,85 \times 35 \times 400} = 63,89 \text{ mm}$$

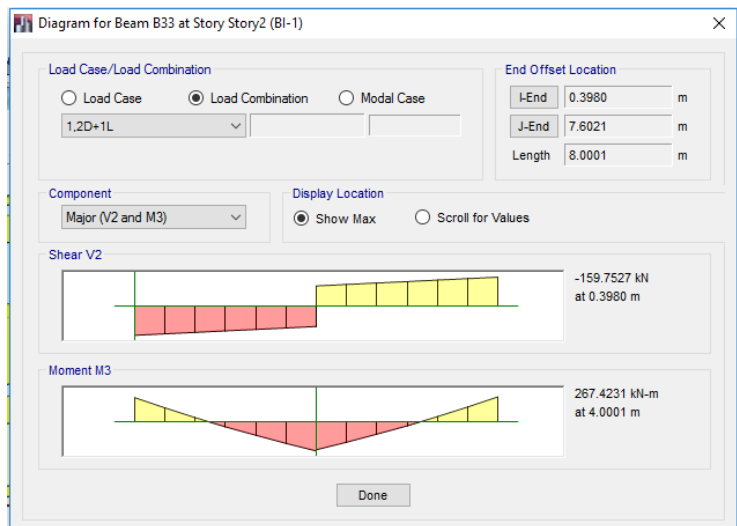
$$M_{pr}^+ = A_s (1,25 f_y) \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_{pr}^+ = 1520,53 (1,25 \times 400) \left(696 - \frac{63,89}{2} \right)$$

$$M_{pr}^+ = 504857774,6 \text{ Nmm} = 504,86 \text{ kNm}$$

Dengan q_u merupakan beban akibat kombinasi 1,2D+1L. Sehingga $q_u \times l_n/2$ dapat dianggap sebagai V_u akibat kombinasi 1,2D+1L pada ETABS.

$$V_u = 159,753 \text{ kN}$$



Gambar 4.23. Gaya geser tumpuan ultimit

$$V_{ki} = \frac{M_{pr}^- + M_{pr}^+}{l_n} + V_u = \frac{820,36 + 504,86}{7,2} + 159,753 = 343,81 \text{ kN}$$

$$V_{ka} = \frac{M_{pr}^- + M_{pr}^+}{l_n} - V_u = \frac{820,36 + 504,86}{7,2} - 159,753 = 24,305 \text{ kN}$$

Perencanaan gaya geser pada sendi plastis:

Gaya geser maksimum yang ditimbulkan oleh beban gempa adalah:

$$\frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{l_n} = \frac{820,36 + 504,86}{7,2} = 184,058 \text{ kN}$$

Di mana nilai ini lebih besar daripada 50% gaya geser total (mengacu pada gambar 6.11)

$$\frac{1}{2} \times 159,753 = 79,877 \text{ kN}$$

Sehingga V_c dapat diambil sama dengan nol. Maka:

$$V_u = \phi V_s + \phi V_c$$

$$V_u = \phi V_s + 0$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} = \frac{159,753}{0,75} = 213,004 \text{ kN}$$

$$V_s < 0,66 \sqrt{f_c} \times b_w \times d$$

$$213,004 \text{ kN} < 0,66 \sqrt{30} \times 400 \times 672,5 \times 10^{-3}$$

$$213,004 \text{ kN} < 972,43 \text{ kN (OK, penampang mencukupi)}$$

Jika dipakai sengkang tertutup dengan diameter 13 mm (2 kaki), maka jarak antar sengkang, s , adalah:

$$s = \frac{A_s \times f_y \times d}{V_s} = \frac{2(132,73) \times 400 \times 672,5}{309,48 \times 10^3} = 230,74 \text{ mm}$$

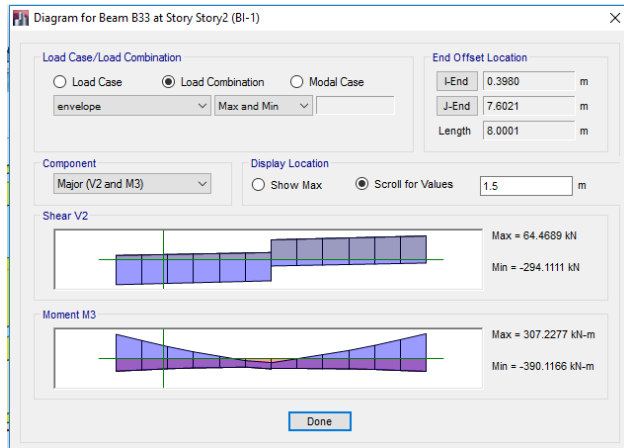
Jarak maksimum sengkang tertutup sepanjang $2h$ ($2 \times 750 = 1500$ mm) tidak boleh mel/ebihi nilai terkecil dari:

- $d/4 = 672,5/4 = 168,13 \text{ mm}$
- $6d_b = 6(22) = 132 \text{ mm}$
- 150 mm

Sehingga tulangan sengkang terpasang D13-130 mm hingga sepanjang 1500 mm dari muka tumpuan mencukupi untuk menahan gaya geser.

b. Penulangan Geser Lapangan Balok

Pada jarak 1500 mm dari muka tumpuan hingga ke bagian lapangan, bekerja gaya geser sebesar:



Gambar 4.24. Gaya geser lapangan ultimit

Pada jarak 1.500 mm dari muka tumpuan hingga ke bagian lapangan, bekerja gaya geser sebesar:

$V_u = 294,111 \text{ kN}$ (gambar 7.10)

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f_c} \times b_w \times d$$

$$V_c = 0,17(1)(\sqrt{30})(400)(672,5) \times 10^{-3} = 250,47 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{294,111}{0,75} - 250,47 = 141,678 \text{ kN}$$

$$V_s \leq 0,33\sqrt{f_c} \times b_w \times d$$

$$8,02 \text{ kN} \leq 0,33\sqrt{30} \times 400 \times 672,5 \times 10^{-3}$$

$141,678 \text{ kN} \leq 486,21 \text{ kN}$ (**OK, penampang mencukupi**)

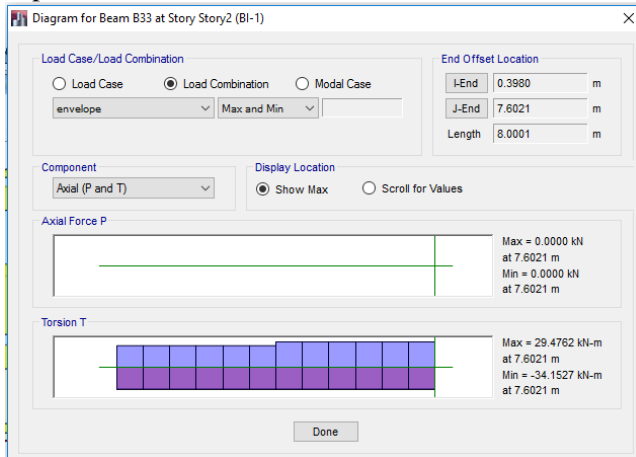
Jika digunakan $d_b = 13 \text{ mm}$, maka jarak ditentukan dari nilai yang terkecil antara:

- $s_1 = A_v f_{yt} \frac{d}{V_s} = 2(132,73)(400) \left(\frac{672,5}{130,874 \times 10^3} \right) = 545,63 \text{ mm}$
- $s_2 = \frac{d}{2} = \frac{672,5}{2} = 336,25 \text{ mm}$
- $s_3 = A_v \frac{f_{yt}}{0,35b_w} = 2(132,73) \times \frac{400}{0,35 \times 400} = 758,46 \text{ mm}$
- $s_4 = 600 \text{ mm}$

Jadi tulangan sengkang terpasang D13-180 mampu menahan gaya geser.

3. Tulangan Puntir / Torsi

Pengaruh puntir/torsi dapat diabaikan apabila momen puntir yang terjadi tidak melebihi persamaan dibawah ini (SNI 2847-2013 pasal 11.5.2.2):



Gambar 4.25. Torsi yang terjadi pada BI-1

$$\begin{aligned}
 Tu &= \frac{\phi \times \sqrt{f'c}}{3} \times \left(\frac{A_{CP}^2}{P_{CP}} \right) \\
 &= \frac{0,75 \times \sqrt{30 \text{ Mpa}}}{3} \times \left(\frac{(800 \times 500 \text{ mm}^2)^2}{2(800 + 500) \text{ mm}} \right) \\
 &= 60858061,9 \text{ Nmm} = 60,858 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Torsi yang terjadi pada BI-1 sebesar 34,15 kNm.

Kontrol: 34,15 kNm < 60,858 kNm (Torsi diabaikan)

Jadi, berdasarkan analisa struktur penulngn balok BI-1 diatas, dapat disimpulkan bahwa tulangan pada balok eksisting sudah cukup kuat, sehingga balok tidak memerlukan perkuatan.

4.3.2. Desain Kolom

Pada desain modifikasi Gedung Laboratorium C-Dast dan Ruang Kuliah Bersama Universitas Jember, terdapat empat jenis kolom, yaitu:

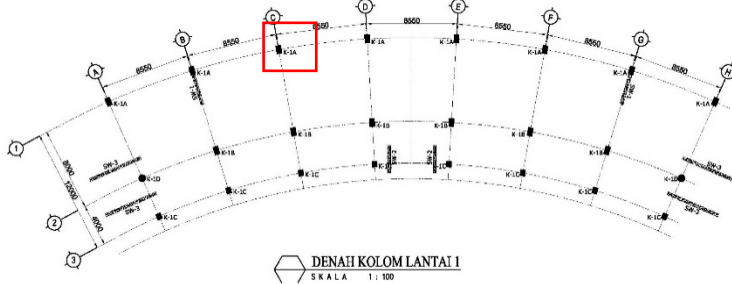
K1A = $800 \times 500 \text{ mm}^2$

K1B = $800 \times 500 \text{ mm}^2$

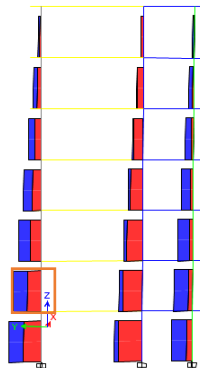
K1C = $600 \times 500 \text{ mm}^2$

K1D = Diameter 600 mm

Sebagai contoh perhitungan, akan didesain kolom interior K1A yang diperlihatkan pada Gambar 6.14. dan Gambar 6.15.



Gambar 4.26. Kolom K1A pada denah



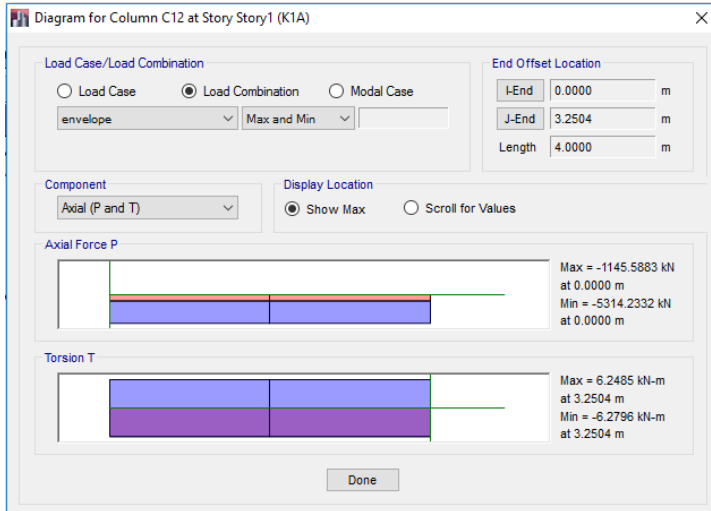
Gambar 4.27. Kolom K1 pada portal

Dari hasil analisis struktur yang telah dilakukan, didapat gaya aksial maksimal yang dipikul kolom akibat kombinasi 1,2D + 1E + 1L, yaitu:

$$P_u = 5314,23 \text{ kN}$$

$$M_{ux} = 211,123 \text{ kNm}$$

$$M_{uy} = 672,773 \text{ kNm}$$



Gambar 4.28. Output Gaya Kolom K1A

Dilakukan kontrol persyaratan komponen pemikul lentur dan gaya aksial berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.1.

Cek terhadap syarat $A_g f'_c / 10$:

$$P_u > \frac{A_g f'_c}{10}$$

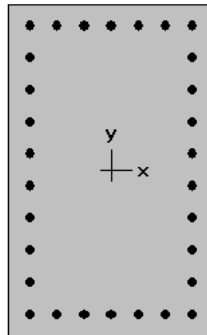
$$5314,23 \text{ kN} > \frac{800 \times 500 \times 35 \times 10^{-3}}{10} = 1400 \text{ kN (OK)}$$

Karena $P_u > A_g f'_c / 10$, maka komponen struktur tersebut didesain sebagai komponen struktur yang memikul beban aksial dan lentur.

4.3.2.1. Tulangan longitudinal penahan lentur

Pada keadaan eksisting, tulangan longitudinal pada kolom K1A dipasang menggunakan tulangan 30D25. Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu SPCol v.4.8.1, tulangan tersebut mampu menahan gaya aksial dan momen pada kolom K1A. Maka:

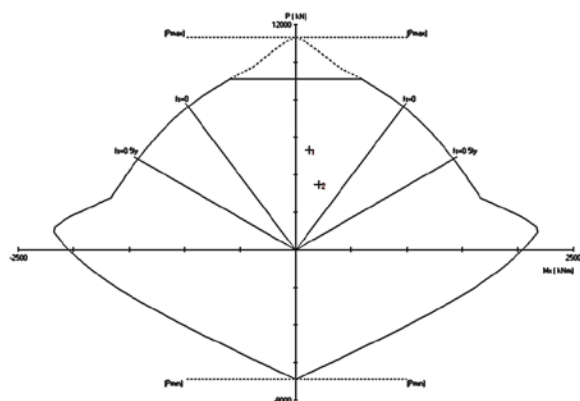
$$\rho = \frac{A_s}{b \times h} = \frac{30(0,25 \times \pi \times 25^2)}{800 \times 500} = 0,0368 = 3,68\%$$



Gambar 4.29. Penampang Kolom K1A

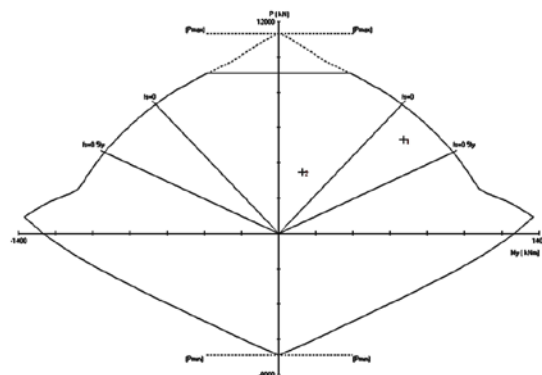
Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 10.9.1 batasan rasio tulangan komponen struktur tekan diijinkan dari 1% - 6%, sehingga persyaratan ini sudah terpenuhi. Diagram interaksi penampang kolom ini ditunjukkan dalam gambar di bawah.

Diagram Interaksi K1 Arah X:



No .	Pu kN	Mux kNm	PhiMnx kNm	PhiMn/Mu
1	5314.23	123.17	1227.96	9.970
2	3484.24	211.12	1467.96	6.953

Diagram Interaksi K1 Arah Y:

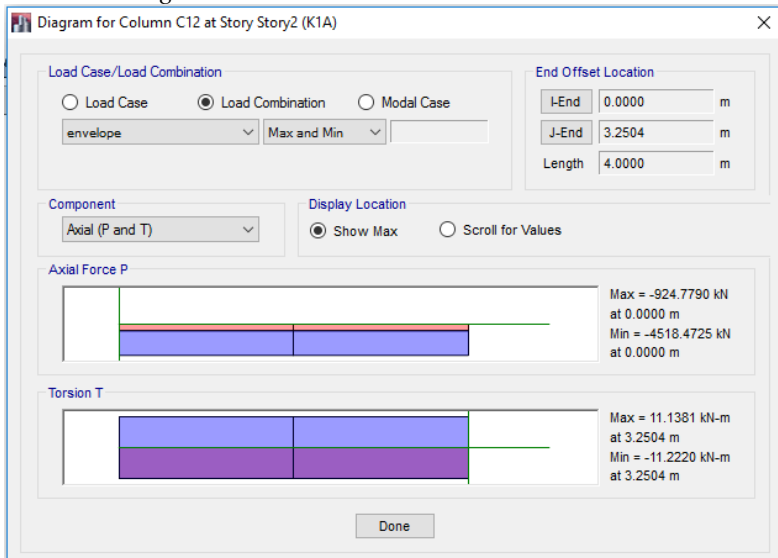


No .	Pu kN	Muy kNm	PhiMny kNm	PhiMn/Mu
1	5314.23	672.77	779.81	1.159
2	3484.24	128.21	937.24	7.310

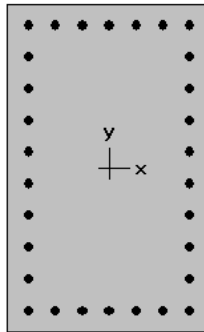
Menurut SNI 2847-2013 Pasal 10.3.6.2, kapasitas beban aksial kolom tidak boleh kurang dari beban aksial terfaktor hasil analisa struktur.

$$\begin{aligned}\phi P_n \max &= 0,8 \times \phi \times \left[0,85 \times f'_c \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st} \right] \\ &= 0,8 \times 0,65 \times \left[0,85 \times 35 \times (400000 - 14726,22) + 400 \times 14726,22 \right] \\ &= 9023239,14 \text{ N} = 9023,24 \text{ kN} > 5314,23 \text{ kN} \dots (\text{OK})\end{aligned}$$

Direncanakan kolom KA1 pada lantai 2 untuk keperluan kontrol *Strong Column Weak Beam*.



Gambar 4.30. Output Gaya Kolom K1 Lantai 2



Gambar 4.31. Penampang Kolom K1 Lantai 2

Beban ultimit yang bekerja adalah akibat kombinasi 1,2D +

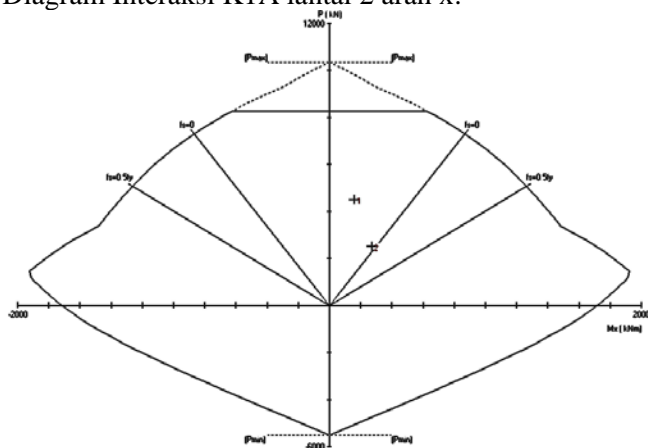
1E + 1L, yaitu:

$$P_u = 4518,47 \text{ kN}$$

$$M_{ux} = 287,08 \text{ kNm}$$

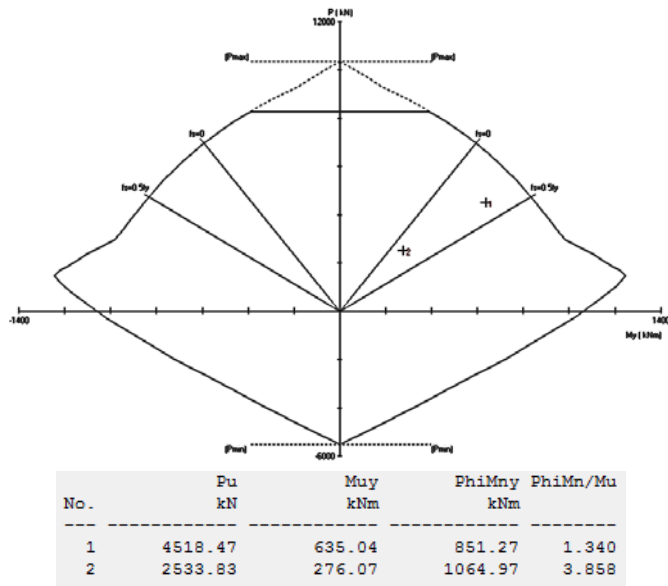
$$M_{uy} = 815,95 \text{ kNm}$$

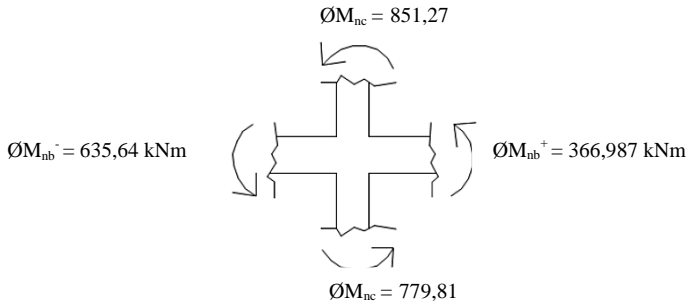
Diagram Interaksi K1A lantai 2 arah x:



No.	P_u kN	M_{ux} kNm	ΦM_{nx} kNm	$\Phi M_n / M_u$
1	4518.47	159.70	1338.83	8.383
2	2533.83	270.87	1701.82	6.283

Diagram Interaksi K1A lantai 2 arah y:





Gambar 4.32. Ilustrasi Kuat Momen yang Bertemu di HBK

Untuk Arah X

Untuk goyangan ke kanan, kuat lentur nominal dari ujung balok (tumpuan) pada titik atas kolom K1 lantai 1 diperoleh dari ϕM_n balok yang telah dihitung dan dibagi dengan faktor $\phi = 0,9$. Dari hasil ini diperoleh:

Pada tumpuan, balok dianggap balok T, maka

$$M_{nb-} = \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{1}{2}a\right)$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b \times e} = \frac{2660,93 \times 400}{0,85 \times 35 \times 2000} = 17,89 \text{ mm}$$

$$M_{nb-} = \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{1}{2}a\right)$$

$$= 0,9 \times 2660,93 \times 400 \times \left(672,5 - \frac{1}{2}17,89\right)$$

$$= 635,64 \text{ kNm}$$

$$M_{nb+} = 366,987 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_{nb} = \frac{635,64 + 366,987}{0,9} = 1114,03 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_{nc} = \frac{1227,96 + 1338,83}{0,65} = 3948,91 \text{ kNm}$$

Maka :

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$$

$$3948,91 \text{ kNm} > 1,2 \times 1114,03 \text{ kNm}$$

$$3948,91 \text{ kNm} > 1336,836 \text{ kNm (OK)}$$

Untuk Arah Y

Untuk goyangan ke kanan, kuat lentur nominal dari ujung balok (tumpuan) pada titik atas kolom K1 lantai 1 diperoleh dari ϕM_n balok yang telah dihitung dan dibagi dengan faktor $\phi = 0,9$. Dari hasil ini diperoleh:

Pada tumpuan, balok dianggap balok T, maka

$$M_{nb-} = \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{1}{2}a\right)$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b \times e} = \frac{2660,93 \times 400}{0,85 \times 35 \times 1700} = 21,05 \text{ mm}$$

$$M_{nb-} = \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{1}{2}a\right)$$

$$= 0,9 \times 2660,93 \times 400 \times \left(672,5 - \frac{1}{2} \times 21,05\right)$$

$$= 635,64 \text{ kNm}$$

$$M_{nb+} = 366,987 \text{ kNm}$$

$$\sum M_{nb} = \frac{635,64 + 366,987}{0,9} = 1114,03 \text{ kNm}$$

$$\sum M_{nc} = \frac{779,81 + 851,27}{0,65} = 2509,35 \text{ kNm}$$

Maka :

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$$

$$2509,35 \text{ kNm} > 1,2 \times 1114,03 \text{ kNm}$$

$$2509,35 \text{ kNm} > 1336,836 \text{ kNm (OK)}$$

4.3.2.3. Perencanaan Geser Kolom

Luas tulangan transversal kolom yang dibutuhkan ditentukan berdasarkan yang terbesar dari persamaan di bawah (SNI 2847:2013 Pasal 21.6.4):

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,3 \times \frac{b_c f_c'}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right]$$

atau

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,09 \frac{b_c f_c'}{f_{yt}}$$

Keterangan :

S = jarak spasi tulangan transversal (mm)

B_c = dimensi potongan melintang dari inti kolom, diukur dari pusat ke pusat dari tulangan pengekang (mm)

A_g = luasan penampang kolom (mm²)

A_{ch} = luasan penampang kolom diukur dari daerah terluar tulangan transversal (mm)

F_{yt} = kuat leleh tulangan transversal (Mpa)

b_c = 500 - 2(40) = 420 mm

A_{ch} = 420 x (800 - 2(40)) = 302400 mm²

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,3 \times \frac{420 \times 35}{400} \left[\left(\frac{500 \times 800}{302400} \right) - 1 \right] = 3,56 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

atau

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,09 \times \frac{420 \times 35}{400} = 3,31 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

Syarat jarak tulangan transversal:

- ¼ dimensi terkecil komponen struktur = ¼ (500) = 125 mm
- 6 kali diameter tulangan memanjang = 6(25) = 150 mm
- s_o = 100 + ($\frac{350 - h_x}{3}$), nilai h_x dapat diperkirakan sebesar 1/3 h_c (= 1/3 x 720 = 240 mm) yang lebih kecil dari syarat yaitu 350 mm. Sehingga besar s_o adalah:

$$s_o = 100 + \left(\frac{350 - 240}{3} \right) = 136,67 \text{ mm}$$

Sehingga jarak maksimum tulangan transversal yang dapat diambil adalah 125 mm. Luas sengkang tertutup yang dibutuhkan adalah:

$$A_{sh} = 7,25 s = 7,25(125) = 906,25 \text{ mm}^2.$$

Sengkang tertutup ini dipasang hingga sejarak l_o diukur dari muka hubungan balok kolom, di mana l_o diambil dari nilai terbesar antara:

- Tinggi penampang komponen struktur pada muka hubungan balok-kolom = 800 mm
- 1/6 dari bentang bersih komponen struktur = $1/6 (3250) = 541,7 \text{ mm}$
- 450 mm

Jadi sepanjang 800 mm dari muka hubungan balok kolom Terpasang sengkang tertutup D13-100 mm.

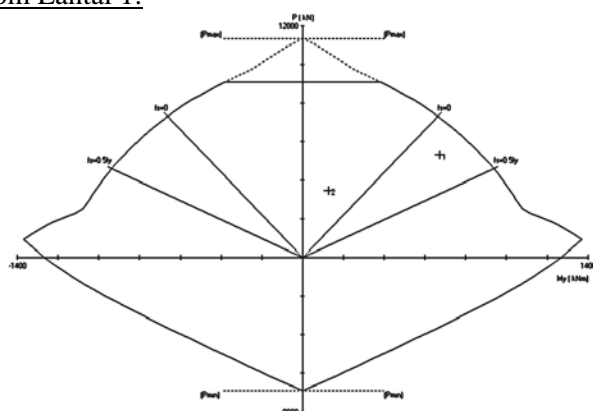
$$A_s = 1061,86 \text{ mm}^2 > A_{sh} = 906,25 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

Gaya Geser yang berhubungan dengan sendi plastis di kedua ujung kolom:

$$V_e = \frac{M_{prc \text{ atas}} + M_{prc \text{ bawah}}}{l_u}$$

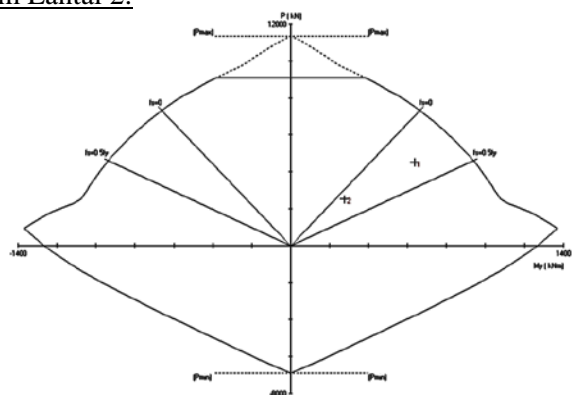
Nilai M_{pr} ujung kolom ditentukan dengan menganggap kuat tarik pada tulangan memanjang sebesar $1,25f_y$ dan faktor reduksi $\phi = 1$, dengan l_u adalah tinggi kolom. Dari diagram interaksi di bawah diperoleh nilai M_{pr} kolom:

Kolom Lantai 1:



No.	Pu kN	Muy kNm	PhiMny kNm	PhiMn/Mu
1	5314.23	672.77	876.13	1.302
2	3484.24	128.21	1015.45	7.920

Kolom Lantai 2:



No.	Pu kN	Muy kNm	PhiMny kNm	PhiMn/Mu
1	4518.47	635.04	943.49	1.486
2	2533.83	276.07	1078.01	3.905

$$V_{e1} = \frac{876,13 + 943,49}{3,25} = 559,88 \text{ kN}$$

Hasil di atas tidak perlu melebihi dari:

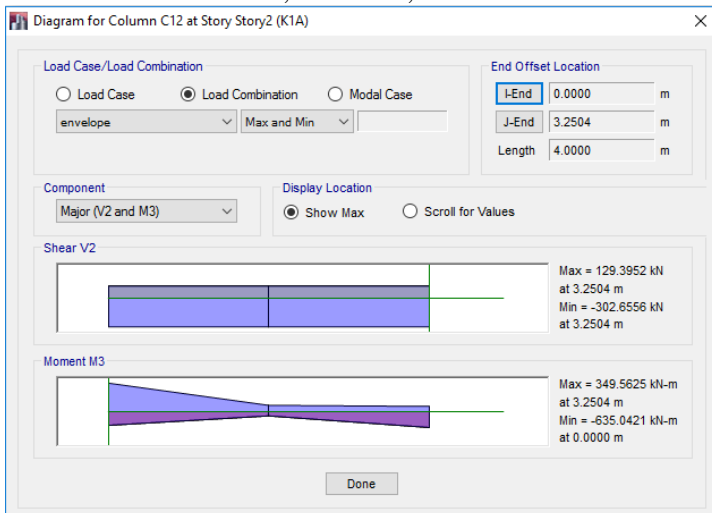
$$V_e = \frac{M_{pr}^- + M_{pr}^+}{l_1}$$

Mprb adalah kuat lentur maksimum dari balok yang merangka pada hubungan balok kolom, dengan l_1 adalah tinggi bersih kolom. Nilai Mpr ini diambil dari perhitungan geser balok.

$$l_1 = 4 - 2 \left(\frac{1}{2} \times 0,75 \right) = 3,25 \text{ m}$$

$$V_{e2} = \frac{635,64 + 366,987}{3,25} = 308,5 \text{ kN}$$

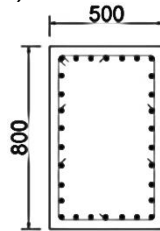
Nilai V_e di atas keduanya tidak boleh kurang dari gaya geser terfaktor hasil analisis, $V_e = 302,66 \text{ kN}$.



Gambar 4.33. Gaya geser ultimit maksimum pada kolom K1A

Sehingga dari ketiga nilai V_e di atas, diambil $V_e = 559,88 \text{ kN}$. Selanjutnya dengan mengasumsikan kuat geser yang disumbang oleh beton, $V_c = 0$, maka:

$$V_s = \frac{V_e}{\phi} = \frac{559,88}{0,75} = 746,51 \text{ kN}$$



$d = h - \text{selimut beton} - \phi \text{senggang} - \frac{1}{2} \phi \text{tul lentur}$

$$d = 800 - 40 - 13 - (25/2) = 734,5 \text{ mm}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_{yt} \times d} = \frac{746,51 \times 10^3}{400 \times 734,5} = 2,54 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Untuk $s = 100 \text{ mm}$, maka $A_v = 2,57(100) = 254 \text{ mm}^2$.

Sudah disediakan senggang tertutup pada perhitungan sebelumnya, yaitu 2 kaki D13 – 100 mm ($A_{sh} = 265,46 \text{ mm}^2$).

Penulangan Geser di Luar l_o :

Diluar panjang l_o , spasi tulangan harus memenuhi 11.4.5.1, maka:

$$\frac{d}{2} = \frac{734,5}{2} = 367,25 \text{ mm} \approx 350 \text{ mm}.$$

Jadi, berdasarkan perhitungan penulangan di atas, tulangan senggang di lapangan yang terpasang di eksisting yaitu D13 – 200 sudah aman dan tidak membutuhkan perkuatan.

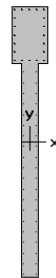
4.3.3. Dinding Geser

Data – Data Desain :

Tinggi Dinding, (h_w)	= 4000 mm
Tebal Dinding, (h)	= 300 mm
Selimut Beton	= 40 mm
Panjang Dinding arah y, (l_{wy})	= 3000 mm
Mutu Beton, (f'_c)	= 35 MPa
Mutu Baja, (f_y)	= 400 MPa
Ø tulangan longitudinal	= D 22 mm
Ø tulangan transversal	= D 13 mm



Gambar 4.34. Lokasi Shearwall yang ditinjau



Gambar 4.35. Penampang Dinding Geser

Desain Dinding Geser Khusus

Gaya dalam yang bekerja pada dinding diperlihatkan pada Tabel 4.34. Gaya dalam tersebut didapatkan dari program bantu analisis struktur akibat kombinasi ENVELOPE.

$$P_u = 8475,823 \text{ kN}$$

$$V_{ux} = 2002,813 \text{ kN}$$

$$M_{ux} = 10732,87 \text{ kNm}$$

Desain dinding geser mengacu pada SNI 1726-2012 Pasal 21.9, yang memiliki persyaratan sebagai berikut:

$$\text{Persyaratan tulangan minimum } V_u > 0,083 A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c}$$

$$A_{cv} = 300 \times 3000 = 900.000 \text{ mm}^2$$

$$0,083 A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c} = 0,083(900.000)(1)(\sqrt{35})$$

$$0,083 A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c} = 441931,16 \text{ N} = 441,93 \text{ kN}$$

$$V_u = 2482,85 \text{ kN} > 0,083 A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c} = 441,93 \text{ kN}$$

Maka, rasio tulangan vertikal dan horizontal, ρ_l dan $\rho_t > 0,0025$.

Periksa apakah perlu dipasang tulangan dalam dua lapis.
Sehingga:

$$0,17 A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c} = 0,17(900000)(1)(\sqrt{35}) = 905.160,21 \text{ N}$$

$$0,17 A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c} = 905,16 \text{ kN} < V_u (=2002,813 \text{ kN})$$

Maka tulangan dipasang dalam dua lapis.

4.3.3.1. Perhitungan Tulangan Horizontal dan Vertikal Dinding Geser

Rasio tulangan minimum adalah 0,0025 sehingga dibutuhkan luas tulangan per m' dinding sebesar:

$$0,0025 A_{cv} = 0,0025(300 \times 1000) = 750 \text{ mm}^2/\text{m}'$$

Jika dipasang tulangan D22 dalam satu lapis:

$A_s = 380,13 \text{ mm}^2$, maka jarak antar tulangan menjadi:

$$s = \frac{380,13 \text{ mm}^2}{750 \text{ mm}^2/\text{m}} = 0,506 \text{ m} = 506 \text{ mm} > 450 \text{ mm}$$

Tulangan terpasang D22-150 dalam satu lapis untuk arah horizontal dan vertikal.

Periksa kuat geser dari dinding berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.9.4.1. Maka:

$$\frac{h_w}{l_w} = \frac{\text{tinggi total dinding}}{\text{panjang dinding}} = \frac{28 \text{ m}}{3 \text{ m}} = 9,33 > 2$$

Karena $h_w/l_w > 2$, sehingga $\alpha_c = 0,17$

Pada dinding terdapat tulangan horizontal dengan konfigurasi 2D16-200. Rasio tulangan terpasang adalah:

$$\rho_t = \frac{201,06}{s \times h} = \frac{402,12}{200 \times 300} = 0,0067$$

Kuat geser nominal:

$$V_n = A_{cv} \left(\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y \right)$$

$$V_n = 900.000(0,17 \times 1 \times \sqrt{35} + (0,0067 \times 400)) \times 10^{-3}$$

$$V_n = 3317,16 \text{ kN}$$

Kuat geser perlu

$$\phi V_n = 0,75(3317,16 \text{ kN}) = 2487,87 \text{ kN} > V_u = 2002,813 \text{ kN}$$

Kuat geser nominal maksimum:

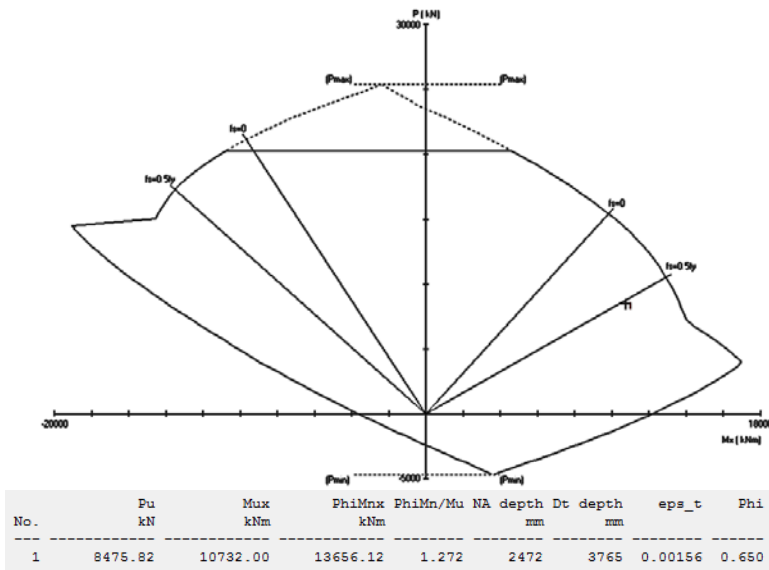
$$A_{cw} = 3 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} = 0,9 \text{ m}$$

$$0,83 A_{cw} \sqrt{f_c} = 0,83 \times 0,9 \sqrt{35} \times 10^3 = 4419,31 \text{ kN}$$

Kuat geser nominal masih di bawah batas atas kuat geser nominal maksimum. Oleh karena itu, konfigurasi tulangan D16-200 mm dapat digunakan sebagai tulangan vertikal.

4.3.3.2. Perencanaan Dinding terhadap Kombinasi Gaya Aksial dan Lentur

Kuat tekan dan lentur dinding struktural diperoleh dengan membuat diagram interaksi dari dinding tersebut. Dari proses *trial and error*, dipasang jumlah tulangan longitudinal tambahan, yaitu 60D22 dengan $\rho = 1,13 \%$. Diagram interaksi aksial tekan vs lentur yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 7.18.



Gambar 4.36. Diagram interaksi dinding geser

4.3.3.3. Penentuan kebutuhan terhadap komponen batas khusus (*special boundary element*)

Berdasarkan pendekatan tegangan, komponen batas diperlukan apabila tegangan tekan maksimum akibat kombinasi momen dan gaya aksial terfaktor yang bekerja pada penampang dinding geser melebihi $0,2 f'_c$ (Pasal 21.9.6.3). Jadi, komponen batas khusus diperlukan jika:

$$\frac{P_u}{A_g} + \left(\frac{M_u}{I} \times \frac{l_w}{2} \right) > 0,2 f'_c$$

$$A_g = 300 \times 3000 = 900.000 \text{ mm}^2$$

$$I_g = \frac{1}{12} \times 300 \times 3000^3 = 2,25 \times 10^{11}$$

$$l_w = 3.000 - 800 = 2.200 \text{ mm}$$

$$\frac{8475,823}{900.000} + \left(\frac{10723,87 \times 10^6}{2,25 \times 10^{11}} \times \frac{2.200}{2} \right) > 0,2 f'_c$$

$$52,44 \text{ MPa} > 0,2 f'_c (= 7 \text{ MPa})$$

Maka dibutuhkan komponen batas. Sebagai sengkang tertutup dan pengikat silang akan digunakan tulangan D13. Jarak maksimum ditentukan dari nilai terkecil antara:

- $1/3$ dimensi terkecil $= 1/3 \times 500 = 166,67 \text{ mm}$
 - $6d_b = 6(25) = 150 \text{ mm}$

$$h_c = 300 - (2 \times 40 \text{ mm}) - 13 \text{ mm} = 207 \text{ mm}$$

$$h_x = 2/3 (h_c) = 2/3 (207) = 138 \text{ mm}$$
 - $s_o = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) = 100 + \left(\frac{350 - 138}{3} \right) = 170,67 \text{ mm}$
- Diambil $s = 100 \text{ mm}$.

Luas tulangan yang dibutuhkan adalah:

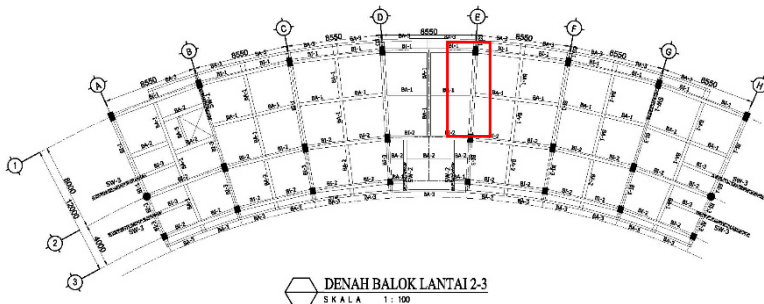
$$A_{sh} = \frac{0,09 s h_c f'_c}{f_{yh}} = \frac{0,09 \times 100 \times 207 \times 35}{400} = 163,01 \text{ mm}^2$$

Tulangan terpasang 2 kaki D13 ($A_s = 265,4 \text{ mm}^2$) dengan jarak 100 mm.

4.4. Perhitungan Perkuatan Struktur Eksisting

Dari hasil perhitungan dan analisa struktur diatas terdapat elemen balok dan kolom yang mengalami kekurangan kapasitas. Sehingga perlu dilakukan suatu perkuatan terhadap elemen-elemen tersebut. Metode perkuatan yang digunakan adalah dengan menggunakan CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) yang dapat dipergunakan untuk perkuatan lentur dan perkuatan geser. Dari evaluasi tersebut juga, dapat dilihat bahwa elemen struktur yang harus diperkuat terdiri dari elemen balok dan kolom.

4.4.1. Perkuatan Balok



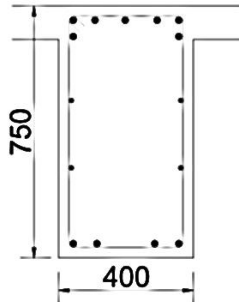
Gambar 4.37. Lokasi balok yang ditinjau

Contoh perhitungan perkuatan balok menggunakan Balok tipe BI-1 yang terletak di lantai 2 (dua) yang membutuhkan perkuatan lentur.

Data Eksisting BI-1

- Bentang = 8000 mm
- Lebar balok = 400 mm
- Tinggi balok = 750 mm
- As lentur tarik = 2660,93 mm² (7D22)
- Momen Nominal (ϕM_n) = 601,39 kNm
- Momen Ultimate (M_u) = 740,486 kNm

Tumpuan



Gambar 4.38. Penampang Balok

Data Bahan Perkuatan

Nama Bahan	= SIKA Carbodur S1012
Type	= CFRP <i>Laminate Tape</i>
Lebar	= 100 mm
Tebal	= 1.2 mm
Luasan FRP (A_f)	= 100mm x 1,2mm = 120 mm ²
Tensile Strength (f_{fu}^*)	= 2800 Mpa
Regangan Putus (ϵ_{fu}^*)	= > 1,7%
Modulus Elasticity (E_f)	= 165.000 Mpa
Faktor Reduksi (C_E)	= 0,95 (Tabel 9.1 ACI 440.2R-08)

Perhitungan Design Material

Desain kuat tarik ultimate FRP (f_{fu}) harus direduksi akibat pengaruh lingkungan

$$f_{fu} = C_E \times f_{fu}^*$$

$$f_{fu} = 0,95 \times 2800 \text{ MPa}$$

$$f_{fu} = 2660 \text{ MPa}$$

Desain regangan putus FRP (ϵ_{fu}) juga harus direduksi

$$\epsilon_{fu} = C_E \times \epsilon_{fu}^*$$

$$\epsilon_{fu} = 0,95 \times 0,017$$

$$\epsilon_{fu} = 0,01615 \text{ mm/mm}$$

Balok ini membutuhkan perkuatan lentur karena Momen nominal (ϕM_n) dari tulangan balok terpasang tidak cukup untuk menahan Momen ultimate (M_u) dari beban terfaktor. Perkuatan

lentur bisa terpenuhi apabila:

$$M_u \leq \phi M_n$$

Maka ϕM_n di desain dengan menjumlahkan M_n dari tulangan dengan M_n dari perkuatan (M_{nf}) yang diakalikan dengan factor reduksi ψ_f .

$$\begin{aligned} M_u &\leq \phi \cdot M_n \\ M_u &\leq \phi \cdot M_{ns} + \psi_f \cdot M_{nf} \\ M_u - \phi M_{ns} &\leq \psi_f \cdot M_{nf} \\ 740,486 - 601,39 &\leq \psi_f \cdot A_f \cdot f_{fe} \cdot \left(h - \frac{\beta_1 \cdot c}{2}\right) \\ 139,096 \text{ kNm} &= \psi_f \cdot A_f \cdot f_{fe} \cdot \left(h - \frac{\beta_1 \cdot c}{2}\right) \end{aligned}$$

Dimana :

$$\psi_f = 0,85$$

$$A_f = \text{Luas penampang FRP (120 mm}^2\text{)}$$

$$f_{fe} = \text{Tegangan efektif FRP}$$

$$h = \text{tinggi balok}$$

$$\beta_1 = \text{rasio tinggi blok tegangan dengan sumbu netral}$$

$$\begin{aligned} c &= \text{jarak antara serat tekan terjauh dengan sumbu netral} \\ &= 0,2 \times d_{\text{balok}} = 0,2 \times 672,5\text{mm} = 134,5\text{mm (asumsi)} \end{aligned}$$

Tegangan efektif pada FRP dapat dicari dengan rumus:

$$f_{fe} = E_f \cdot \epsilon_{fe}$$

Dimana :

$$E_f = 165.000 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{fe} = \text{regangan efektif FRP yang tidak boleh melebihi regangan pada saat debonding terjadi (}\epsilon_{fd}\text{)}$$

$$\epsilon_{fe} = \epsilon_{cu} \cdot \left(\frac{d_f - c}{c}\right) - \epsilon_{bi} \leq \epsilon_{fd}$$

Dimana :

$$\epsilon_{cu} = \text{regangan maksimum yang bisa dimanfaatkan pada serat tekan beton beton terluar (0,003)}$$

$$d_f = H_{\text{balok}} = 750\text{mm}$$

$$\epsilon_{bi} = \text{regangan di beton pada saat pemasangan FRP, dimana beban yang bekerja adalah beban mati struktur dan}$$

beban mati tambahan pada struktur tersebut.

$$\varepsilon_{bi} = \frac{\sigma}{E_c} = \frac{\frac{M_D + S_{DL}}{W}}{4700\sqrt{f_c}} = \frac{\frac{\frac{1}{8} \cdot (4,88 \text{ N/mm} + 7,2 \text{ N/mm}) \cdot 8000^2}{\frac{1}{6} \cdot 400 \cdot 750^2}}{4700\sqrt{35}} = 0,0000927$$

ε_{fd} = regangan dimana debonding akan terjadi

$$\varepsilon_{fd} = 0,41 \cdot \sqrt{\frac{f_c}{E_{f,tf}}} \leq 0,9 \cdot \varepsilon_{fu} = 0,41 \cdot \sqrt{\frac{35}{165000 \times 1,2}} \leq 0,9 \cdot 0,0162$$

$$= 0,0055 \leq 0,0146 \quad \text{OK}$$

Jadi :

$$\varepsilon_{fe} = \varepsilon_{cu} \cdot \left(\frac{d_f - c}{c} \right) - \varepsilon_{bi} \leq \varepsilon_{fd}$$

$$= 0,003 \cdot \left(\frac{750 - 134,5}{134,5} \right) - 0,0000927$$

$$= 0,0137 > \varepsilon_{fd} = 0,0055$$

Maka :

$$\varepsilon_{fe} = \varepsilon_{fd} = 0,0055$$

Tegangan efektif pada FRP dapat dihitung :

$$f_{fe} = E_f \cdot \varepsilon_{fe}$$

$$= 165.000 \text{ MPa} \cdot 0,0055$$

$$= 907,5 \text{ MPa}$$

Selanjutnya dapat diketahui jumlah CFRP yang dibutuhkan untuk perkuatan lentur balok.

$$\psi_f \cdot A_f \cdot f_{fe} \cdot \left(h - \frac{\beta_1 \cdot c}{2} \right) = 139096000 \text{ Nmm}$$

$$0,85 \cdot A_f \cdot 907,5 \cdot \left(750 - \frac{0,8 \cdot 134,5}{2} \right) = 139096000$$

$$64443753 \cdot n = 139096000$$

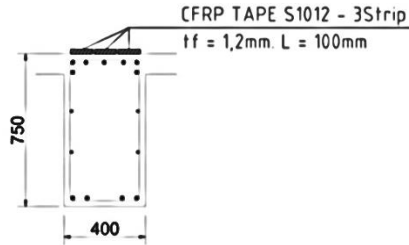
$$A_f = \frac{139096000}{537031,275} = 259,01 \text{ mm}^2$$

Jadi untuk perkuatan balok ini dipasang :

$$\frac{A_{fperlu}}{A_f \text{ 1 CFRP}} = \frac{259,01 \text{ mm}^2}{120 \text{ mm}^2} = 2,16 = 3 \text{ strip}$$

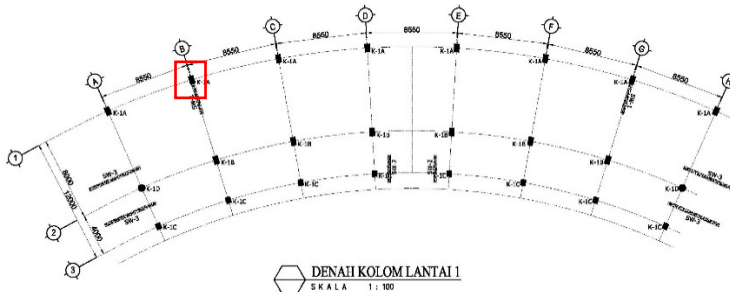
Dipasang sepanjang:

$$(b \times L) = (0,4 \times 8) = 3,2\text{m dari ujung balok.}$$



Gambar 4.39. Pemasangan perkuatan CFRP pada balok

4.4.2. Perkuatan Kolom

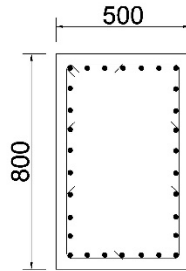


Gambar 4.40. Kolom K1A pada denah

Contoh perhitungan perkuatan kolom menggunakan Kolom tipe K1A yang terletak di lantai 1 (satu) yang membutuhkan perkuatan geser.

Data Eksisting K1A

- Bentang = 4000 mm
- Lebar kolom = 500 mm
- Tinggi kolom = 800 mm
- ØVe tulangan kolom = 357,76 kN
- Vu dari gaya dalam = 549,11 kN
- Δ Vu = 191,35 kN



Gambar 4.41. Penampang Kolom

Data Bahan Perkuatan

Nama Bahan	= SIKA Wrap 231C
Type	= CFRP <i>Wrap</i>
Lebar	= 500 mm
Tebal	= 0,131 mm
Tensile Strength (f_{fu}^*)	= 4800 Mpa
Regangan Putus (ε_{fu}^*)	= > 1,8%
Modulus Elasticity (E_f)	= 234.000 Mpa
Faktor Reduksi (C_E)	= 0,95 (Tabel 9.1 ACI 440.2R-08)

Kolom ini membutuhkan perkuatan geser karena Geser nominal (V_e) dari tulangan sengkang terpasang tidak cukup untuk menahan Geser ultimate (V_u) dari beban terfaktor. Perkuatan lentur bisa terpenuhi apabila:

$$\phi V_n > V_u$$

Maka ϕV_n di desain dengan menjumlahkan V_n dari tulangan dengan M_n dari perkuatan (V_{nf}) yang diakalikan dengan factor reduksi ψ_f .

$$\phi V_n = \phi (V_c + V_e + \psi_f V_f) > V_u$$

Dimana :

ϕ	= 0,9
V_c	= kuat geser yng disumbang beton = 0
V_e	= kuat geser yang disumbang tulangan baja = 357,76 kN
ψ_f	= 0,95
V_f	= Kuat geser yang disumbang FRP

1. Perhitungan Design Material

Desain kuat tarik ultimate FRP (f_{fu}) harus direduksi akibat pengaruh lingkungan

$$f_{fu} = C_E \times f_{fu*}$$

$$f_{fu} = 0,95 \times 4800 \text{ MPa}$$

$$f_{fu} = 4560 \text{ MPa}$$

Desain regangan putus FRP (ϵ_{fu}) juga harus direduksi

$$\epsilon_{fu} = C_E \times \epsilon_{fu*}$$

$$\epsilon_{fu} = 0,95 \times 0,018$$

$$\epsilon_{fu} = 0,0171 \text{ mm/mm}$$

2. Regangan efektif pada kolom dan balok yang diperkuat dengan dibungkus sepenuhnya dengan FRP besarnya dibatasi < 0,4%. Regangan efektif FRP (ϵ_{fe}) dapat ditentukan dengan rumus:

$$\epsilon_{fe} = 0,75 \cdot \epsilon_{fu} \leq 0,004$$

$$\epsilon_{fe} = 0,75 \cdot 0,0171 \leq 0,004$$

$$\epsilon_{fe} = 0,0128 > 0,004, \text{ maka :}$$

$$\epsilon_{fe} = 0,004$$

Maka tegangan FRP adalah

$$f_{fe} = E_f \cdot \epsilon_{fe}$$

$$= 234.000 \text{ MPa} \cdot 0,004$$

$$= 936 \text{ MPa}$$

3. Gaya Geser yang akan dipikul FRP dapat dihitung dari kebutuhan perkuatan gaya geser, faktor reduksigeser dan factor reduksi geser FRP.

$$V_f = \frac{\Delta Vu}{\phi \cdot \psi_f}$$

$$= \frac{191,35 \text{ kN}}{0,85 \cdot 0,95}$$

$$= 236,966 \text{ Kn}$$

4. Jadi luasan FRP yang dibutuhkan dapat dicari :

$$A_f = \frac{V_f}{\varepsilon_f \cdot E_f \cdot d_f}$$

$$A_f = \frac{236,966 \text{ kN}}{0,004 \cdot 234 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} \cdot 800 \text{ mm}}$$

$$= 0,316$$

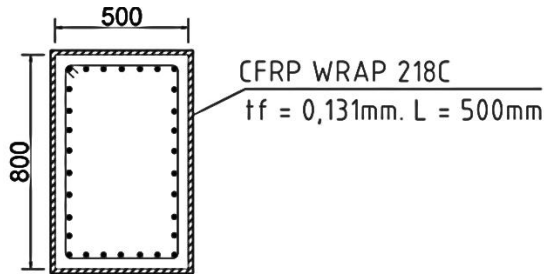
5. Jumlah CFRP Wrap yang dibutuhkan :

$$n = \frac{A_f}{2 \cdot t_f}$$

$$n = \frac{0,316}{2 \cdot 0,131}$$

$$n = 1,206 \approx 2 \text{ buah}$$

jadi dipasang perkuatan 2 lembar CFRP Wrap secara kontinyu di sepanjang tinggi kolom.



Gambar 4.42. Pemasangan perkuatan CFRP pada Kolom

4.5. Metode Pelaksanaan

4.5.1. Umum

Metode pelaksanaan pemasangan perkuatan CFRP berdasarkan brosur dari PT. SIKA dilakukan dengan beberapa langkah.

4.5.2. Persiapan Permukaan Beton

Persiapan permukaan beton meliputi :

- 1) Secara umum, permukaan balok/kolom yang akan diperkuat harus bersih, kering, rata, yakni tidak ada bagian dari permukaan yang menonjol ataupun terdapat lubang . Menghilangkan debu, minyak, senyawa kimia, partikel asing dan bahan ikatan lainnya termasuk cat dari permukaan kolom dengan membersihkan atau cara mekanis yang lain sebelum instalasi CFRP dilakukan.
- 2) Jika terdapat permukaan beton yang kondisinya buruk harus diperbaiki terlebih dahulu.
- 3) Permukaan yang tidak rata harus diisi dengan mortar perbaikan yang tepat.
- 4) Hati-hati supaya tidak terjadi pengembunan air di permukaan balo/beton yang akan diinstalasi CFRP.

4.5.3. Persiapan Permukaan CFRP

Persiapan permukaan CFRP meliputi :

- 1) Potong CFRP sesuai kebutuhan untuk dipasang di balok/kolom sesuai perhitungan.
- 2) Membersihkan permukaan plate dengan sehingga tidak terkontaminasi debu.
- 3) Tunggu sampai permukaan benar-benar kering sebelum diberi bahan perekat adhesif. Lebih kurang 10 menit.

4.5.4. Persiapan Permukaan CFRP

Pemasangan / instalasi CFRP :

- 1) Oleskan bhn perekat adhesif (Sikadur 30) pada plate CFRP yang akan digunakan dengan menggunakan spatula khusus, sehingga bahan perekat dapat dioleskan dengan rata.
- 2) Tempelkan CFRP yang sudah ada bahan perekatnya ke permukaan beton yang akan diperkuat.
- 3) Setelah menempel lalu ditekan dr sisi luar sehingga bahan perekat apat menyatu dengan pembukaan beton.
- 4) Hilangkan sisa bahan perekat yang berada di sisi luar CFRP.

4.5.5. Curing

- 1) Waktu lamanya curing ditentukan oleh produsen *CFRP*, biasanya 24 sampai 72 jam tergantung suhu lingkungan
- 2) Suhu curing harus dipertahankan dalam kisaran suhu normal seperti yang ditunjukkan pada kemasan.
- 3) Beton komposit harus dipastikan memiliki kepadatan dan ketebalan yang seragam dan tidak ada rongga udara di dalamnya.



Gambar 4.43. Perkuatan CFRP

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis pada bab – bab sebelumnya, didapat kesimpulan sesuai dengan tujuan Tugas Akhir sebagai berikut :

1. Dari hasil analisis pada Bab IV, didapatkan bahwa struktur pelat dan balok anak masih mampu menahan beban berdasarkan SNI 1727-2013.
2. Dari hasil analisis pada Bab IV, didapatkan :
 - Pada lantai 1 tidak ada balok yang membutuhkan perkuatan, tetapi ada 2 kolom yang membutuhkan perkuatan geser.
 - Pada lantai 2 tidak ada balok yang membutuhkan perkuatan, tetapi ada 2 kolom yang membutuhkan perkuatan geser.
 - Pada lantai 3 terdapat 14 balok yang membutuhkan perkuatan lentur, dan tidak ada balok yang membutuhkan perkuatan geser.
 - Pada lantai 4 terdapat 20 balok yang membutuhkan perkuatan lentur, dan tidak ada balok yang membutuhkan perkuatan geser.
3. Dari Hasil analisis pada Bab IV dapat disimpulkan bahwa apabila elemen struktur yang membutuhkan perkuatan tidak segera diperkuat maka akan mengakibatkan kerusakan atau bahkan keruntuhan pada gedung tersebut.
4. Dari hasil analisis pada Bab IV didapatkan balok dan kolom yang membutuhkan perkuatan bisa terpenuhi perkuatannya dengan menggunakan CFRP yang dihitung berdasarkan

ketentuan dari peraturan yang berlaku. Dan diketahui juga jumlah lapis CFRP yang dibutuhkan tiap-tiap elemen.

5. Dari hasil analisis pada Bab IV dapat disimpulkan bahwa pada kondisi eksisting, dimana elemen struktur dihitung dan menerima beban berdasarkan peraturan lama diketahui:
 - Beberapa balok (tabel 5.1 dan tabel 5.2 membutuhkan perkuatan lentur karena tulangan tidak mampu menahan gaya dari beban-beban yang berkerja sesuai dengan peraturan baru (SNI 1727-2013 dan SNI 1726-2012).
 - Beberapa kolom (tabel 5.3 dan tabel 5.4) membutuhkan perkuatan geser karena tulangan sengkangnya tidak mampu menahan gaya lateral akibat beban gempa yang diinputkan berdasarkan peraturan gempa terbaru (SNI 1726-2012).
 - Pelat tidak membutuhkan perkuatan, karena tulangan pelat masih mampu menahan beban mati dan hidup yang diatur dalam peraturan baru (SNI 1727-2013) yang besarnya tidak jauh berbeda dari yang diatur dalam peraturan lama (PPIUG 1987)

Tabel 5.1. Rekapitulasi Perkuatan Lentur Balok Lantai 3

STORY 2									
Nama	Tipe	Eksisting		Hasil ETABS		Keterangan		Perkuatan	
Balok	Balok	T	L	T	L	T	L	CFRP TAPE (strip)	
		ϕMn (kNm)	ϕMn (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)			T	L
B14	BI-1	601.37	601.37	776.98	426.83	NOT OK	OK	3	-
B16	BI-1	601.37	601.37	741.52	378.15	NOT OK	OK	3	-
B31	BI-1	601.37	601.37	776.21	425.21	NOT OK	OK	3	-
B33	BI-1	601.37	601.37	740.52	377.76	NOT OK	OK	3	-
B67	BI-1	601.37	601.37	687.11	581.79	NOT OK	OK	2	-
B73	BI-1	601.37	601.37	686.30	581.20	NOT OK	OK	2	-
B95	BI-2	475.36	400.84	740.45	690.01	NOT OK	NOT OK	4	4
B12	BI-2	475.36	400.84	745.63	687.32	NOT OK	NOT OK	4	4
B13	BI-3	378.02	335.15	375.98	365.89	OK	NOT OK	-	1
B15	BI-3	378.02	335.15	357.16	337.94	OK	NOT OK	-	1
B30	BI-3	378.02	335.15	376.31	364.07	OK	NOT OK	-	1
B32	BI-3	378.02	335.15	357.02	336.58	OK	NOT OK	-	1
B55	BI-3	378.02	335.15	315.40	387.75	OK	NOT OK	-	1
B59	BI-3	378.02	335.15	316.09	389.19	OK	NOT OK	-	1

Tabel 5.2. Rekapitulasi Perkuatan Lentur Balok Lantai 4

STORY 3									
Nama	Tipe	Eksisting		Hasil ETABS		Keterangan		Perkuatan	
Balok	Balok	T	L	T	L	T	L	CFRP TAPE (strip)	
		ϕMn (kNm)	ϕMn (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)			T	L
B14	BI-1	601.37	601.37	827.44	496.90	NOT OK	OK	4	-
B16	BI-1	601.37	601.37	804.24	458.68	NOT OK	OK	4	-
B31	BI-1	601.37	601.37	823.46	494.63	NOT OK	OK	4	-
B33	BI-1	601.37	601.37	802.81	458.04	NOT OK	OK	4	-
B67	BI-1	601.37	601.37	750.43	646.19	NOT OK	NOT OK	3	1
B73	BI-1	601.37	601.37	748.63	645.17	NOT OK	NOT OK	3	1
B6	BI-2	475.36	400.84	482.15	243.86	NOT OK	OK	1	-
B23	BI-2	475.36	400.84	480.44	179.05	NOT OK	OK	1	-
B95	BI-2	475.36	400.84	695.19	681.45	NOT OK	NOT OK	4	4
B12	BI-2	475.36	400.84	693.18	681.96	NOT OK	NOT OK	4	4
B13	BI-3	378.02	335.15	404.31	397.24	NOT OK	NOT OK	-	1
B15	BI-3	378.02	335.15	386.13	362.33	NOT OK	NOT OK	-	1
B30	BI-3	378.02	335.15	404.76	394.87	NOT OK	NOT OK	-	1
B32	BI-3	378.02	335.15	385.90	360.63	NOT OK	NOT OK	-	1
B47	BI-3	378.02	335.15	319.58	336.52	OK	NOT OK	-	1
B48	BI-3	378.02	335.15	324.36	341.79	OK	NOT OK	-	1
B55	BI-3	378.02	335.15	330.30	395.58	OK	NOT OK	-	1
B59	BI-3	378.02	335.15	331.11	397.23	OK	NOT OK	-	1
B70	BI-3	378.02	335.15	410.93	418.84	NOT OK	NOT OK	1	1
B75	BI-3	378.02	335.15	409.20	418.90	NOT OK	NOT OK	1	1

Tabel 5.3. Rekapitulasi Perkuatan Geser Kolom Lantai 1

STORY 1							
NO	NAMA	TIPE	EKSISTING		ETABS	KET	PERKUATAN
	KOLOM	KOLOM	$\emptyset Ve1$	$\emptyset Ve2$	V_u		CFRP WRAP
			(kN)	(kN)	(kN)		(lembar)
2	C11	K1A	357.76	308.67	549.11	NOT OK	2
6	C22	K1A	356.12	308.67	551.56	NOT OK	2

Tabel 5.4. Rekapitulasi Perkuatan Geser Kolom Lantai 2

STORY 2							
NO	NAMA	TIPE	EKSISTING		ETABS	KET	PERKUATAN
	KOLOM	KOLOM	$\emptyset Ve1$	$\emptyset Ve2$	V_u		CFRP WRAP
			(kN)	(kN)	(kN)		(lembar)
11	C9	K1B	490.89846	268.17518	498.4761	NOT OK	1
14	C20	K1B	491.53846	268.17518	496.0776	NOT OK	1

5.2. Saran

Dari hasil analisis yang telah dilakukan dapat diambil beberapa saran untuk kemajuan penulis Tugas Akhir, diantaranya :

- 1) Pada saat melakukan analisis, ketelitian adalah salah satu hal yang sangat penting untuk diperhatikan agar bisa meminimalisir terjadinya kesalahan.
- 2) Perlu peningkatan konsep tentang perkuatan dengan material *CFRP* mengingat masih sedikit penggunaannya di Indonesia.
- 3) Agar perkuatan ini dapat menjadi tepat guna, maka metode pelaksanaan sangat perlu untuk diperhatikan.
- 4) *CFRP* sangat efisien dan mudah dalam pengerjaannya, untuk itu disarankan supaya menggunakan *CFRP* untuk mengatasi masalah perkuatan struktur.

DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Institute. 2002. **Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures (ACI 440.2R-02)**. ACI Committee 440.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. **Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung**. SNI 1726:2012. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. **Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung**. SNI 2847:2013. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. **Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain**. SNI 1727:2013. Jakarta: BSN.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. 1981. **Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983**. Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. 1971. **Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971**. Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Karmila, Agoes, Tawio. “Metode Eksperimental Struktur Kolom Beton Bertulang Tahan Gempa Menggunakan CFRP sebagai Eksternal Confinement”. **Jurnal Teknologi Terpadu**, ISSN: 2338-6649, Volume-1, No.1, Oktober 2008.
- Noorhidana, Purwanto. “Daktilitas Kolom yang Diperkuat dengan CFRP”. **Jurnal Teknik Sipil UBL**, Volume-3, No.2, Oktober 2012.

- Pangestu, Nuroji, Antonius. “Pengaruh Penggunaan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* terhadap Perilaku Lentur Struktur Beton Bertulang”. **PILAR**, Volume-15, No.2, September 2006
- Parvin, Brighton. “FRP Composites Strengthening of Concrete Columns under Various Loading Conditions”. **Polymers**, ISSN: 2073-4360, Volume-6, 2014.
- Rameshkhumar, Kulkarni. “Flexural Behavioural Study on RC Beam with Externally Bonded Aramid Fiber Reinforced Polymer”. **International Journal of Research in Engineering and Technology (IJRET)**. eISSN: 2319-1163, pISSN: 2321-7308, Volume-3, Issue.7, July 2014.
- Sianipar, Marolop T. 2009. “Analisa Kolom Bertulang yang Diperkuat dengan Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)”. **Universitas Sumatera Utara Repository**
- Soenaryo, Taufik, Siswanto. “Perbaikan Kolom Beton Bertulang dengan Menggunakan Concrete Jacketing”. **Rekayasa Sipil**. Volume-3, No.2. ISSN 1978-5658
- Sudjati, Tarigan, Tresna. “Perbaikan Kolom Beton Bertulang Menggunakan *Glass Fiber Jacket* dengan Variasi Tingkat Pembebanan”. **Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil 9 (KoNTekS 9)**. Komda VI BMPTTSSI-Makasar. Oktober 2015.
- Vedprakash C. Marlapalle, P. J. Salunke, N. G. Gore. “Analysis and Design of FRP Jacketing for Buildings”. **International Journal of Emerging Science and Engineering (IJESE)**. ISSN: 2319-6378, Volume-2 Issue-9, July 2014

LAMPIRAN

“ Halaman ini Sengaja Dikosongkan ”

REKAPITULASI PERBANDINGAN KAPASITAS MOMEN BALOK EKSISTING DAN PERKUATANNYA

STORY 2									
Nama	Type	Eksisting		Hasil ETABS		Keterangan		Perkuatan	
Balok	Balok	T	L	T	L	T	L	CFRP TAPE (strip)	
		ϕM_n (kNm)	ϕM_n (kNm)	μ_u (kNm)	μ_u (kNm)			T	L
B1	BI-1	601.37	601.37	430.4817	205.8438	OK	OK	-	-
B2	BI-1	601.37	601.37	463.85	185.50	OK	OK	-	-
B3	BI-1	601.37	601.37	456.58	224.49	OK	OK	-	-
B14	BI-1	601.37	601.37	776.98	426.83	NOT OK	OK	3	-
B16	BI-1	601.37	601.37	741.52	378.15	NOT OK	OK	3	-
B18	BI-1	601.37	601.37	430.82	205.95	OK	OK	-	-
B19	BI-1	601.37	601.37	460.14	182.24	OK	OK	-	-
B20	BI-1	601.37	601.37	472.86	221.28	OK	OK	-	-
B31	BI-1	601.37	601.37	776.21	425.21	NOT OK	OK	3	-
B33	BI-1	601.37	601.37	740.52	377.76	NOT OK	OK	3	-
B35	BI-1	601.37	601.37	433.78	200.71	OK	OK	-	-
B67	BI-1	601.37	601.37	687.11	581.79	NOT OK	OK	2	-
B69	BI-1	601.37	601.37	367.16	391.97	OK	OK	-	-
B72	BI-1	601.37	601.37	364.14	383.37	OK	OK	-	-
B73	BI-1	601.37	601.37	686.30	581.20	NOT OK	OK	2	-
B115	BI-1	601.37	601.37	10.97	2.73	OK	OK	-	-
B116	BI-1	601.37	601.37	21.15	0.56	OK	OK	-	-
B21	BI-2	475.36	400.84	411.42	199.31	OK	OK	-	-
B22	BI-2	475.36	400.84	390.81	186.88	OK	OK	-	-
B23	BI-2	475.36	400.84	440.69	179.05	OK	OK	-	-
B24	BI-2	475.36	400.84	302.70	171.35	OK	OK	-	-
B25	BI-2	475.36	400.84	287.26	139.82	OK	OK	-	-
B26	BI-2	475.36	400.84	314.51	190.24	OK	OK	-	-
B36	BI-2	475.36	400.84	402.95	223.66	OK	OK	-	-
B95	BI-2	475.36	400.84	740.45	690.01	NOT OK	NOT OK	4	4
B12	BI-2	475.36	400.84	745.63	687.32	NOT OK	NOT OK	4	4
B13	BI-3	378.02	335.15	375.98	365.89	OK	NOT OK	-	1
B15	BI-3	378.02	335.15	357.16	337.94	OK	NOT OK	-	1
B30	BI-3	378.02	335.15	376.31	364.07	OK	NOT OK	-	1
B32	BI-3	378.02	335.15	357.02	336.58	OK	NOT OK	-	1
B47	BI-3	378.02	335.15	313.72	309.84	OK	OK	-	-
B48	BI-3	378.02	335.15	318.20	314.56	OK	OK	-	-
B55	BI-3	378.02	335.15	315.40	387.75	OK	NOT OK	-	1
B59	BI-3	378.02	335.15	316.09	389.19	OK	NOT OK	-	1
B70	BI-3	378.02	335.15	376.38	334.70	OK	OK	-	-
B71	BI-3	378.02	335.15	274.94	316.96	OK	OK	-	-
B74	BI-3	378.02	335.15	273.66	313.20	OK	OK	-	-
B75	BI-3	378.02	335.15	273.66	313.20	OK	OK	-	-
B96	BI-3	378.02	335.15	1.07	1.06	OK	OK	-	-
B98	BI-3	378.02	335.15	21.12	1.06	OK	OK	-	-
B99	BI-3	378.02	335.15	12.33	0.08	OK	OK	-	-
B101	BI-3	378.02	335.15	21.11	4.06	OK	OK	-	-

REKAPITULASI PERBANDINGAN KAPASITAS GESER BALOK EKSISTING DAN PERKUATANNYA

STORY 2					
Nama	Tipe	Eksisting	ETABS	Keterangan	PERKUATAN
Balok	Balok	ϕV_n (kN)	V_u (kN)		CFRP WRAP
B1	BI-1	572,51	176.94	OK	-
B2	BI-1	572,51	179.25	OK	-
B3	BI-1	572,51	175.47	OK	-
B14	BI-1	572,51	328.93	OK	-
B16	BI-1	572,51	308.91	OK	-
B18	BI-1	572,51	177.03	OK	-
B19	BI-1	572,51	178.09	OK	-
B20	BI-1	572,51	182.13	OK	-
B31	BI-1	572,51	328.73	OK	-
B33	BI-1	572,51	308.90	OK	-
B35	BI-1	572,51	175.62	OK	-
B67	BI-1	572,51	286.74	OK	-
B69	BI-1	572,51	402.10	OK	-
B72	BI-1	572,51	399.31	OK	-
B73	BI-1	572,51	286.39	OK	-
B115	BI-1	572,51	29.61	OK	-
B116	BI-1	572,51	50.23	OK	-
B117	BI-1	572,51	50.43	OK	-
B22	BI-2	642.26	179.75	OK	-
B23	BI-2	642.26	204.18	OK	-
B24	BI-2	642.26	136.91	OK	-
B25	BI-2	642.26	130.93	OK	-
B26	BI-2	642.26	149.16	OK	-
B36	BI-2	642.26	365.85	OK	-
B95	BI-2	642.26	346.05	OK	-
B12	BI-2	642.26	339.91	OK	-
B13	BI-3	372.78	236.13	OK	-
B15	BI-3	372.78	223.97	OK	-
B30	BI-3	372.78	234.62	OK	-
B32	BI-3	372.78	222.96	OK	-
B47	BI-3	372.78	279.56	OK	-
B48	BI-3	372.78	353.49	OK	-
B55	BI-3	372.78	365.46	OK	-
B59	BI-3	372.78	366.63	OK	-
B70	BI-3	372.78	358.44	OK	-
B71	BI-3	372.78	317.51	OK	-
B74	BI-3	372.78	316.28	OK	-
B75	BI-3	372.78	478.72	OK	-
B96	BI-3	372.78	37.52	OK	-
B98	BI-3	372.78	37.49	OK	-
B99	BI-3	372.78	24.00	OK	-
B101	BI-3	372.78	38.32	OK	-
B107	BI-3	372.78	37.53	OK	-

REKAPITULASI PERBANDINGAN KAPASITAS MOMEN BALOK EKSISTING DAN PERKUATANNYA

STORY 3									
Nama	Type	Eksisting		Hasil ETABS		Keterangan		Perkuatan	
Balok	Balok	T	L	T	L	T	L	CFRP TAPE (strip)	
		ϕM_n (kNm)	ϕM_n (kNm)	μ_u (kNm)	μ_u (kNm)			T	L
B1	BI-1	601.37	601.37	462.13	187.01	OK	OK	-	-
B2	BI-1	601.37	601.37	508.60	219.58	OK	OK	-	-
B3	BI-1	601.37	601.37	506.86	279.26	OK	OK	-	-
B14	BI-1	601.37	601.37	827.44	496.90	NOT OK	OK	4	-
B16	BI-1	601.37	601.37	804.24	458.68	NOT OK	OK	4	-
B18	BI-1	601.37	601.37	461.65	186.98	OK	OK	-	-
B19	BI-1	601.37	601.37	505.56	218.84	OK	OK	-	-
B20	BI-1	601.37	601.37	524.24	275.32	OK	OK	-	-
B31	BI-1	601.37	601.37	823.46	494.63	NOT OK	OK	4	-
B33	BI-1	601.37	601.37	802.81	458.04	NOT OK	OK	4	-
B35	BI-1	601.37	601.37	463.32	183.92	OK	OK	-	-
B67	BI-1	601.37	601.37	750.43	646.19	NOT OK	NOT OK	3	1
B69	BI-1	601.37	601.37	413.16	446.41	OK	OK	-	-
B72	BI-1	601.37	601.37	409.33	435.81	OK	OK	-	-
B73	BI-1	601.37	601.37	748.63	645.17	NOT OK	NOT OK	3	1
B115	BI-1	601.37	601.37	11.04	3.16	OK	OK	-	-
B116	BI-1	601.37	601.37	20.22	1.97	OK	OK	-	-
B4	BI-2	475.36	400.84	428.13	180.83	OK	OK	-	-
B5	BI-2	475.36	400.84	414.04	169.47	OK	OK	-	-
B6	BI-2	475.36	400.84	482.15	243.86	NOT OK	OK	1	-
B7	BI-2	475.36	400.84	346.45	207.66	OK	OK	-	-
B23	BI-2	475.36	400.84	480.44	179.05	NOT OK	OK	1	-
B24	BI-2	475.36	400.84	347.32	207.36	OK	OK	-	-
B25	BI-2	475.36	400.84	318.28	169.66	OK	OK	-	-
B26	BI-2	475.36	400.84	347.08	233.74	OK	OK	-	-
B36	BI-2	475.36	400.84	395.54	252.38	OK	OK	-	-
B95	BI-2	475.36	400.84	695.19	681.45	NOT OK	NOT OK	4	4
B12	BI-2	475.36	400.84	693.18	681.96	NOT OK	NOT OK	4	4
B13	BI-3	378.02	335.15	404.31	397.24	NOT OK	NOT OK	-	1
B15	BI-3	378.02	335.15	386.13	362.33	NOT OK	NOT OK	-	1
B30	BI-3	378.02	335.15	404.76	394.87	NOT OK	NOT OK	-	1
B32	BI-3	378.02	335.15	385.90	360.63	NOT OK	NOT OK	-	1
B47	BI-3	378.02	335.15	319.58	336.52	OK	NOT OK	-	1
B48	BI-3	378.02	335.15	324.36	341.79	OK	NOT OK	-	1
B55	BI-3	378.02	335.15	330.30	395.58	OK	NOT OK	-	1
B59	BI-3	378.02	335.15	331.11	397.23	OK	NOT OK	-	1
B70	BI-3	378.02	335.15	410.93	418.84	NOT OK	NOT OK	1	1
B71	BI-3	378.02	335.15	291.91	334.65	OK	OK	-	-
B74	BI-3	378.02	335.15	291.01	330.09	OK	OK	-	-
B75	BI-3	378.02	335.15	409.20	418.90	NOT OK	NOT OK	1	1
B96	BI-3	378.02	335.15	1.07	2.12	OK	OK	-	-
B98	BI-3	378.02	335.15	21.05	0.97	OK	OK	-	-
B99	BI-3	378.02	335.15	12.67	0.00	OK	OK	-	-

REKAPITULASI PERBANDINGAN KAPASITAS GESER BALOK EKSISTING DAN PERKUATANNYA

STORY 3					
Nama	Tipe	Eksisting	ETABS	Keterangan	PERKUATAN
Balok	Balok	ϕV_n (kN)	V_u (kN)		CFRP WRAP
B1	BI-1	572,51	179.47	OK	-
B2	BI-1	572,51	185.63	OK	-
B3	BI-1	572,51	189.08	OK	-
B14	BI-1	572,51	326.11	OK	-
B16	BI-1	572,51	313.24	OK	-
B18	BI-1	572,51	179.34	OK	-
B19	BI-1	572,51	184.74	OK	-
B20	BI-1	572,51	196.10	OK	-
B31	BI-1	572,51	325.89	OK	-
B33	BI-1	572,51	313.16	OK	-
B35	BI-1	572,51	178.45	OK	-
B67	BI-1	572,51	306.10	OK	-
B69	BI-1	572,51	415.67	OK	-
B72	BI-1	572,51	412.06	OK	-
B73	BI-1	572,51	305.64	OK	-
B115	BI-1	572,51	30.36	OK	-
B116	BI-1	572,51	49.64	OK	-
B117	BI-1	572,51	47.82	OK	-
B5	BI-2	642.26	182.89	OK	-
B6	BI-2	642.26	218.37	OK	-
B7	BI-2	642.26	150.48	OK	-
B8	BI-2	642.26	139.89	OK	-
B24	BI-2	642.26	150.76	OK	-
B25	BI-2	642.26	140.49	OK	-
B26	BI-2	642.26	160.49	OK	-
B36	BI-2	642.26	364.85	OK	-
B95	BI-2	642.26	408.24	OK	-
B12	BI-2	642.26	388.71	OK	-
B13	BI-3	372,78	256.23	OK	-
B15	BI-3	372,78	239.45	OK	-
B30	BI-3	372,78	254.18	OK	-
B32	BI-3	372,78	239.32	OK	-
B47	BI-3	372,78	304.74	OK	-
B48	BI-3	372,78	380.22	OK	-
B55	BI-3	372,78	407.95	OK	-
B59	BI-3	372,78	409.30	OK	-
B70	BI-3	372,78	514.21	OK	-
B71	BI-3	372,78	340.76	OK	-
B74	BI-3	372,78	339.30	OK	-
B75	BI-3	372,78	514.30	OK	-
B96	BI-3	372,78	37.52	OK	-
B98	BI-3	372,78	37.36	OK	-
B99	BI-3	372,78	24.70	OK	-
B101	BI-3	372,78	36.24	OK	-

REKAPITULASI PERBANDINGAN KAPASITAS AKSIAL DAN MOMEN KOLOM EKSISTING DAN PERKUATANNYA

STORY 1												
NO	NAMA	TIPE	EKSISTING	ETABS	SCWB Arah X		SCWB Arah Y		KETERANGAN		PERKUATAN	
	KOLOM	KOLOM	ϕP_n	Pu	ϕM_{nb}	ϕM_{nc}	ϕM_{nb}	ϕM_{nc}	Pu	SCWB X	SCWB Y	CRRP TAPE (strip)
			(kN)	(kN)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)			
1	C10	K1A	9113,71	2878.82	1060.32	5400.69	1059.40	3376.43	OK	OK	OK	-
2	C11	K1A	9113,71	8968.23	1060.32	2840.95	1059.40	1788.80	OK	OK	OK	-
3	C12	K1A	9113,71	5337.34	1060.32	4213.38	1059.40	2675.49	OK	OK	OK	-
4	C13	K1A	9113,71	5294.46	1060.32	4220.43	1059.40	2680.08	OK	OK	OK	-
5	C21	K1A	9113,71	2857.43	1060.32	5414.86	1059.40	3388.18	OK	OK	OK	-
6	C22	K1A	9113,71	8993.45	1060.32	2828.06	1059.40	1780.62	OK	OK	OK	-
7	C23	K1A	9113,71	5288.47	1060.32	4227.26	1059.40	2684.54	OK	OK	OK	-
8	C24	K1A	9113,71	5290.03	1060.32	4222.14	1059.40	2681.20	OK	OK	OK	-
9	C7	K1B	8078.16	3499.02	840.9706	4337	1059.4	2707.25	OK	OK	OK	-
10	C8	K1B	8078.16	4313.14	840.9706	3961.769	1059.4	2507.89	OK	OK	OK	-
11	C9	K1B	8078.16	5792.6	840.9706	3540.338	1059.4	2233.71	OK	OK	OK	-
12	C18	K1B	8078.16	3524.43	840.9706	4317.723	1059.4	2698.37	OK	OK	OK	-
13	C19	K1B	8078.16	4293.29	840.9706	3967.923	1059.4	2512.15	OK	OK	OK	-
14	C20	K1B	8078.16	5768.85	840.9706	3548.385	1059.4	2238.82	OK	OK	OK	-
15	C2	K1C	5260.37	2018.08	840.1057	2018.846	436.32	1646.45	OK	OK	OK	-
16	C3	K1C	5260.37	3506.76	840.1057	1667.6	436.32	1373.05	OK	OK	OK	-
17	C4	K1C	5260.37	3584.35	840.1057	1652.969	436.32	1361.45	OK	OK	OK	-
18	C5	K1C	5260.37	2783.77	840.1057	1813.092	436.32	1476.88	OK	OK	OK	-
19	C1	K1C	5260.37	2028.44	840.1057	2018.292	436.32	1646.05	OK	OK	OK	-
20	C14	K1C	5260.37	3510.11	840.1057	1667.077	436.32	1372.63	OK	OK	OK	-
21	C15	K1C	5260.37	3567.84	840.1057	1655.785	436.32	1363.68	OK	OK	OK	-
22	C16	K1C	5260.37	2779.51	840.1057	1814.969	436.32	1478.4	OK	OK	OK	-
23	C6	K1D	5356.62	2712.38	840.9706	1576.846	1059.4	1567.92	OK	OK	OK	-
24	C17	K1D	5356.62	2714.04	840.9706	1576.554	1059.4	1567.6	OK	OK	OK	-

REKAPITULASI PERBANDINGAN KAPASITAS GESER KOLOM EKSISTING DAN PERKUATANNYA

STORY 1							
NO	NAMA	TIPE	EKSISTING		ETABS	KET	PERKUATAN
	KOLOM	KOLOM	ϕV_{e1}	ϕV_{e2}	V_u		CFRP WRAP
			(kN)	(kN)	(kN)		(lembar)
1	C10	K1A	675.29	308.67	219.80	OK	-
2	C11	K1A	357.76	308.67	549.11	NOT OK	2
3	C12	K1A	535.10	308.67	257.16	OK	-
4	C13	K1A	536.02	308.67	248.39	OK	-
5	C21	K1A	677.64	308.67	217.87	OK	-
6	C22	K1A	356.12	308.67	551.56	NOT OK	2
7	C23	K1A	536.91	308.67	255.83	OK	-
8	C24	K1A	536.24	308.67	248.22	OK	-
9	C7	K1B	541.44923	268.17518	208.3019	OK	-
10	C8	K1B	501.57846	268.17518	257.4818	OK	-
11	C9	K1B	446.74154	268.17518	309.608	OK	-
12	C18	K1B	539.67385	268.17518	207.8846	OK	-
13	C19	K1B	502.43077	268.17518	257.0173	OK	-
14	C20	K1B	447.76308	268.17518	308.3824	OK	-
15	C2	K1C	329.28923	232.64467	96.2272	OK	-
16	C3	K1C	274.60923	232.64467	107.9767	OK	-
17	C4	K1C	272.28923	232.64467	97.3481	OK	-
18	C5	K1C	295.37538	232.64467	57.13	OK	-
19	C1	K1C	329.20923	232.64467	95.4353	OK	-
20	C14	K1C	274.52615	232.64467	107.3242	OK	-
21	C15	K1C	272.73538	232.64467	96.9359	OK	-
22	C16	K1C	295.68	232.64467	56.7929	OK	-
23	C6	K1D	313.58462	268.17518	82.0947	OK	-
24	C17	K1D	313.52	268.17518	81.5183	OK	-

REKAPITULASI PERBANDINGAN KAPASITAS AKSIAL DAN MOMEN KOLOM EKSISTING DAN PERKUATANNYA

STORY 2												
NO	NAMA	TIPE	EKSISTING	ETABS	SCWB Arah X		SCWB Arah Y		KETERANGAN			PERKUATAN
	KOLOM	KOLOM	ϕP_n (kN)	Pu (kN)	ϕM_{nb} (kNm)	ϕM_{nc} (kNm)	ϕM_{nb} (kNm)	ϕM_{nc} (kNm)	Pu (kNm)	SCWB X	SCWB Y	CFRP TAPE (strip)
1	C10	K1A	9113,71	2467.94	1060.32	5676.17	1059.40	3609.26	OK	OK	OK	-
2	C11	K1A	9113,71	6080.46	1060.32	4144.62	1059.40	2630.09	OK	OK	OK	-
3	C12	K1A	9113,71	4500.65	1060.32	4510.49	1059.40	2869.65	OK	OK	OK	-
4	C13	K1A	9113,71	4505.78	1060.32	4506.69	1059.40	2867.14	OK	OK	OK	-
5	C21	K1A	9113,71	2448.24	1060.32	5687.42	1059.40	3619.69	OK	OK	OK	-
6	C22	K1A	9113,71	6090.73	1060.32	4139.31	1059.40	2626.65	OK	OK	OK	-
7	C23	K1A	9113,71	4477.18	1060.32	4523.57	1059.40	2875.05	OK	OK	OK	-
8	C24	K1A	9113,71	4501.32	1060.32	4508.72	1059.40	2868.18	OK	OK	OK	-
9	C7	K1B	8078.16	2948.4	840.97	4726.4	1059.4	2977.2	OK	OK	OK	-
10	C8	K1B	8078.16	2913.2	840.97	4478.2	1059.4	2844.4	OK	OK	OK	-
11	C9	K1B	8078.16	4778.3	840.97	3879.8	1059.4	2454.5	OK	OK	OK	-
12	C18	K1B	8078.16	2973.3	840.97	4710.7	1059.4	2964.6	OK	OK	OK	-
13	C19	K1B	8078.16	2899.6	840.97	4481	1059.4	2846.3	OK	OK	OK	-
14	C20	K1B	8078.16	4759	840.97	3884.8	1059.4	2457.7	OK	OK	OK	-
15	C2	K1C	5260.37	1700.5	840.11	1889.7	436.32	1555	OK	OK	OK	-
16	C3	K1C	5260.37	2995.2	840.11	1767.1	436.32	1439.8	OK	OK	OK	-
17	C4	K1C	5260.37	3095.1	840.11	1734.6	436.32	1416.1	OK	OK	OK	-
18	C5	K1C	5260.37	2323.2	840.11	1957.9	436.32	1597.9	OK	OK	OK	-
19	C1	K1C	5260.37	1709.9	840.11	1862.9	436.32	1558.4	OK	OK	OK	-
20	C14	K1C	5260.37	2998.5	840.11	1765.9	436.32	1438.8	OK	OK	OK	-
21	C15	K1C	5260.37	3078.6	840.11	1737.2	436.32	1417	OK	OK	OK	-
22	C16	K1C	5260.37	2317.1	840.11	1958.6	436.32	1598.5	OK	OK	OK	-
23	C6	K1D	5356.62	2712.4	840.97	1576.8	1059.4	1567.9	OK	OK	OK	-
24	C17	K1D	5356.62	2714	840.97	1576.6	1059.4	1567.6	OK	OK	OK	-

REKAPITULASI PERBANDINGAN KAPASITAS GESER KOLOM EKSISTING DAN PERKUATANNYA

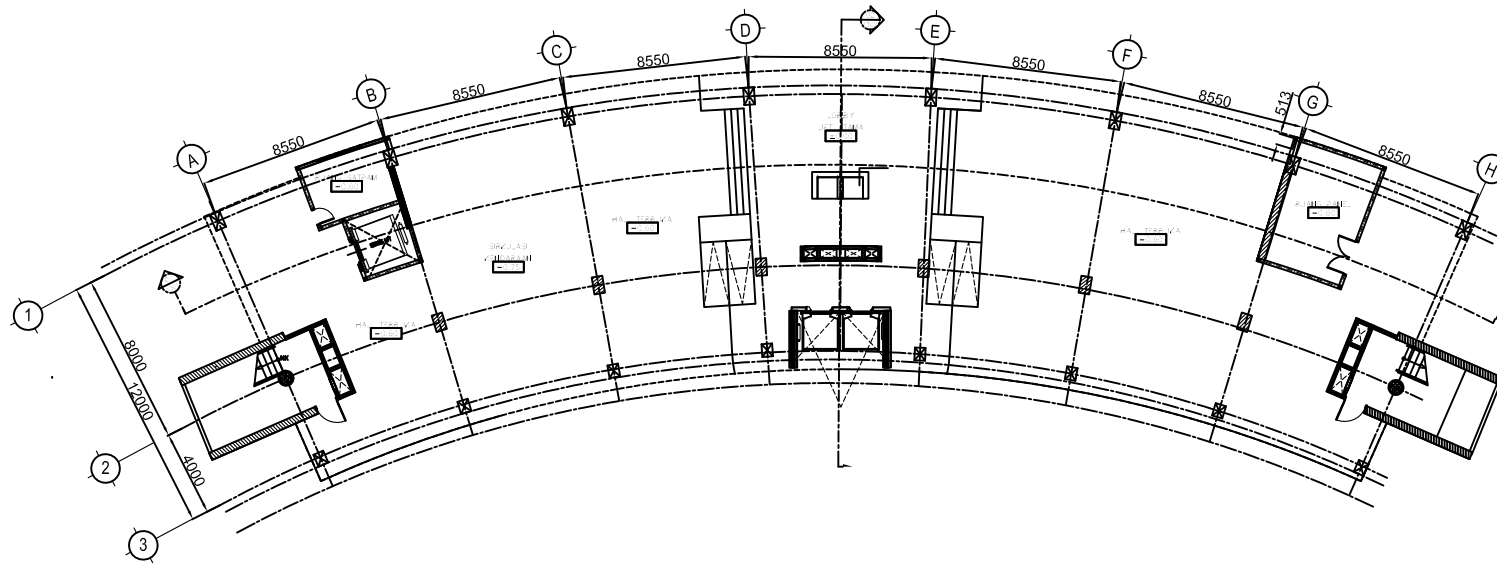
STORY 2							
NO	NAMA	TIPE	EKSISTING		ETABS	KET	PERKUATAN
	KOLOM	KOLOM	ØVe1	ØVe2	Vu		CFRP WRAP
			(kN)	(kN)	(kN)		(lembar)
1	C10	K1A	721.85	308.67	220.11	OK	-
2	C11	K1A	526.02	308.67	287.57	OK	-
3	C12	K1A	573.93	308.67	303.91	OK	-
4	C13	K1A	573.43	308.67	304.00	OK	-
5	C21	K1A	723.94	308.67	216.89	OK	-
6	C22	K1A	525.33	308.67	287.26	OK	-
7	C23	K1A	575.01	308.67	301.58	OK	-
8	C24	K1A	573.64	308.67	303.69	OK	-
9	C7	K1B	595.44308	268.17518	335.8509	OK	-
10	C8	K1B	568.87385	268.17518	299.2727	OK	-
11	C9	K1B	490.89846	268.17518	498.4761	NOT OK	1
12	C18	K1B	592.92923	268.17518	336.9395	OK	-
13	C19	K1B	569.26769	268.17518	298.1639	OK	-
14	C20	K1B	491.53846	268.17518	496.0776	NOT OK	1
15	C2	K1C	311.00923	232.64467	116.5923	OK	-
16	C3	K1C	287.96	232.64467	145.0951	OK	-
17	C4	K1C	283.21846	232.64467	134.4931	OK	-
18	C5	K1C	319.58462	232.64467	61.3338	OK	-
19	C1	K1C	311.67692	232.64467	115.1513	OK	-
20	C14	K1C	287.76	232.64467	143.9477	OK	-
21	C15	K1C	283.40923	232.64467	133.7733	OK	-
22	C16	K1C	319.70769	232.64467	60.774	OK	-
23	C6	K1D	313.58462	268.17518	82.0947	OK	-
24	C17	K1D	313.52	268.17518	81.5183	OK	-

REKAPITULASI PERBANDINGAN KAPASITAS AKSIAL DAN MOMEN KOLOM EKSISTING DAN PERKUATANNYA

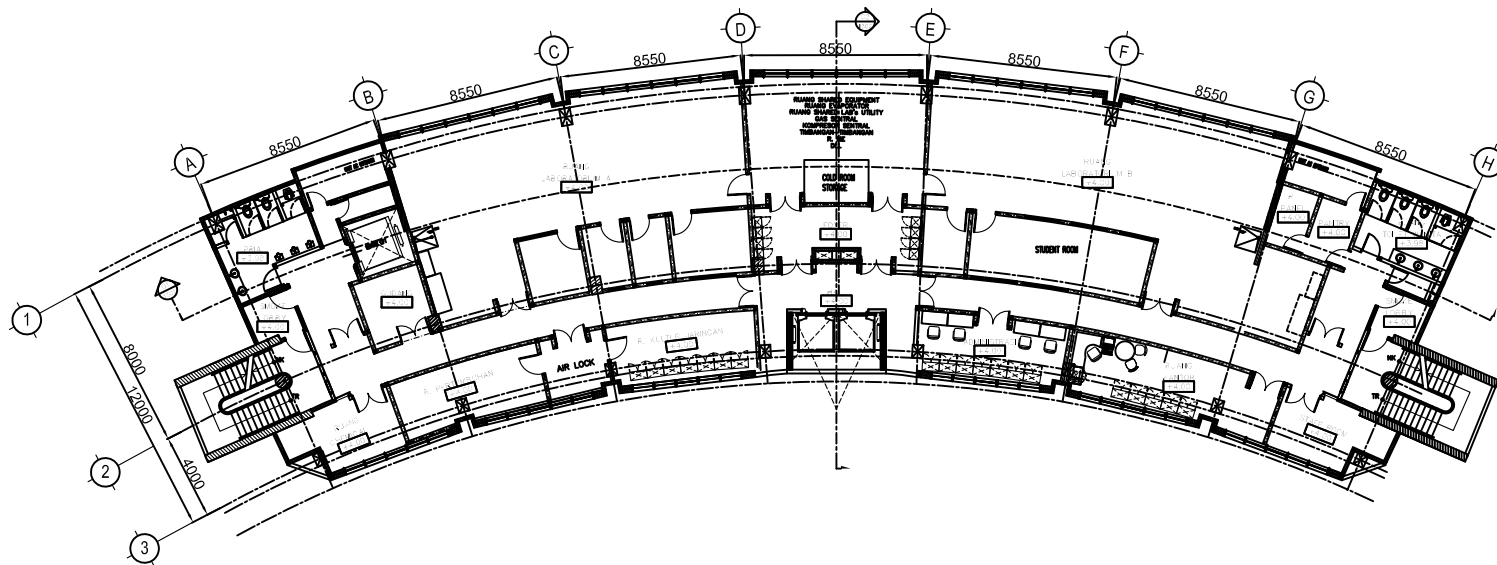
STORY 3												
NO	NAMA	TIPE	EKSISTING	ETABS	SCWB Arah X		SCWB Arah Y		KETERANGAN			PERKUATAN
	KOLOM	KOLOM	ϕP_n	P_u	ϕM_{nb}	ϕM_{nc}	ϕM_{nb}	ϕM_{nc}	P_u	SCWB X	SCWB Y	CFRP TAPE (strip)
			(kN)	(kN)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)			
1	C10	K1A	9113,71	2032.78	1060.32	5965.78	1059.40	3861.03	OK	OK	OK	-
2	C11	K1A	9113,71	3687.19	1060.32	5235.03	1059.40	3338.26	OK	OK	OK	-
3	C12	K1A	9113,71	3654.02	1060.32	4937.86	1059.40	3096.54	OK	OK	OK	-
4	C13	K1A	9113,71	3670.87	1060.32	4925.49	1059.40	3087.58	OK	OK	OK	-
5	C21	K1A	9113,71	2016.19	1060.32	5973.95	1059.40	3868.97	OK	OK	OK	-
6	C22	K1A	9113,71	3702.68	1060.32	5228.98	1059.40	3333.65	OK	OK	OK	-
7	C23	K1A	9113,71	3632.52	1060.32	4954.45	1059.40	3104.98	OK	OK	OK	-
8	C24	K1A	9113,71	3666.73	1060.32	4928.17	1059.40	3089.20	OK	OK	OK	-
9	C7	K1B	8078.16	2407.95	840.97	4932.42	1059.40	3144.09	OK	OK	OK	-
10	C8	K1B	8078.16	1777.54	840.97	4947.37	1059.40	3159.58	OK	OK	OK	-
11	C9	K1B	8078.16	3691.85	840.97	4384.86	1059.40	2756.62	OK	OK	OK	-
12	C18	K1B	8078.16	2430.40	840.97	4930.05	1059.40	3141.66	OK	OK	OK	-
13	C19	K1B	8078.16	1774.98	840.97	4949.06	1059.40	3161.05	OK	OK	OK	-
14	C20	K1B	8078.16	3677.65	840.97	4389.68	1059.40	2760.18	OK	OK	OK	-
15	C2	K1C	5260.37	1334.32	840.11	1702.45	436.32	1397.72	OK	OK	OK	-
16	C3	K1C	5260.37	2443.87	840.11	1935.06	436.32	1579.38	OK	OK	OK	-
17	C4	K1C	5260.37	2526.55	840.11	1922.86	436.32	1564.06	OK	OK	OK	-
18	C5	K1C	5260.37	1811.57	840.11	1905.15	436.32	1567.66	OK	OK	OK	-
19	C1	K1C	5260.37	1342.31	840.11	1675.65	436.32	1401.06	OK	OK	OK	-
20	C14	K1C	5260.37	2447.25	840.11	1934.72	436.32	1579.09	OK	OK	OK	-
21	C15	K1C	5260.37	2521.70	840.11	1923.51	436.32	1565.03	OK	OK	OK	-
22	C16	K1C	5260.37	1806.83	840.11	1903.35	436.32	1566.14	OK	OK	OK	-
23	C6	K1D	5356.62	2712.38	840.97	1576.85	1059.40	1567.92	OK	OK	OK	-
24	C17	K1D	5356.62	2714.04	840.97	1576.55	1059.40	1567.60	OK	OK	OK	-

REKAPITULASI PERBANDINGAN KAPASITAS GESER KOLOM EKSISTING DAN PERKUATANNYA

STORY 3							
NO	NAMA	TIPE	EKSISTING		ETABS	KET	PERKUATAN
	KOLOM	KOLOM	ϕV_{e1} (kN)	ϕV_{e2} (kN)	V_u (kN)		CFRP WRAP (lembar)
1	C10	K1A	772.21	308.67	248.06	OK	-
2	C11	K1A	667.65	308.67	237.07	OK	-
3	C12	K1A	619.31	308.67	311.43	OK	-
4	C13	K1A	617.52	308.67	314.20	OK	-
5	C21	K1A	773.79	308.67	244.37	OK	-
6	C22	K1A	666.73	308.67	254.85	OK	-
7	C23	K1A	621.00	308.67	308.84	OK	-
8	C24	K1A	617.84	308.67	313.70	OK	-
9	C7	K1B	628.82	268.18	403.93	OK	-
10	C8	K1B	631.92	268.18	372.91	OK	-
11	C9	K1B	551.32	268.18	378.17	OK	-
12	C18	K1B	628.33	268.18	404.12	OK	-
13	C19	K1B	632.21	268.18	372.60	OK	-
14	C20	K1B	552.04	268.18	374.71	OK	-
15	C2	K1C	279.54	232.64	116.59	OK	-
16	C3	K1C	315.88	232.64	145.10	OK	-
17	C4	K1C	312.81	232.64	134.49	OK	-
18	C5	K1C	313.53	232.64	61.33	OK	-
19	C1	K1C	280.21	232.64	115.15	OK	-
20	C14	K1C	315.82	232.64	143.95	OK	-
21	C15	K1C	313.01	232.64	133.77	OK	-
22	C16	K1C	313.23	232.64	60.77	OK	-
23	C6	K1D	313.58	268.18	82.09	OK	-
24	C17	K1D	313.52	268.18	81.52	OK	-



DENAH LANTAI 1
SKALA 1 : 100



DENAH LANTAI 2 - 3
SKALA 1 : 100

INSTITUT



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI LINTAS JALUR S1 TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERKUATAN GEDUNG DENGAN MENGGUNAKAN
CARBON FIBER REINFORCED POLYMER
(CFRP)

STUDI KASUS MENGGUNAKAN LAYOUT GEDUNG
LABORATORIUM C-DAST DAN RUANG KULIAH BERSAMA
UNIVERSITAS JEMBER

DOSEN PEMBIMBING I

PROF. DR. IR. TRIWULAN, DEA

DOSEN PEMBIMBING II

DR. TECHN. PUJO AJI, ST., MT.

MAHASISWA

YUDITH VEMMY
3114.106.019

JUDUL GAMBAR

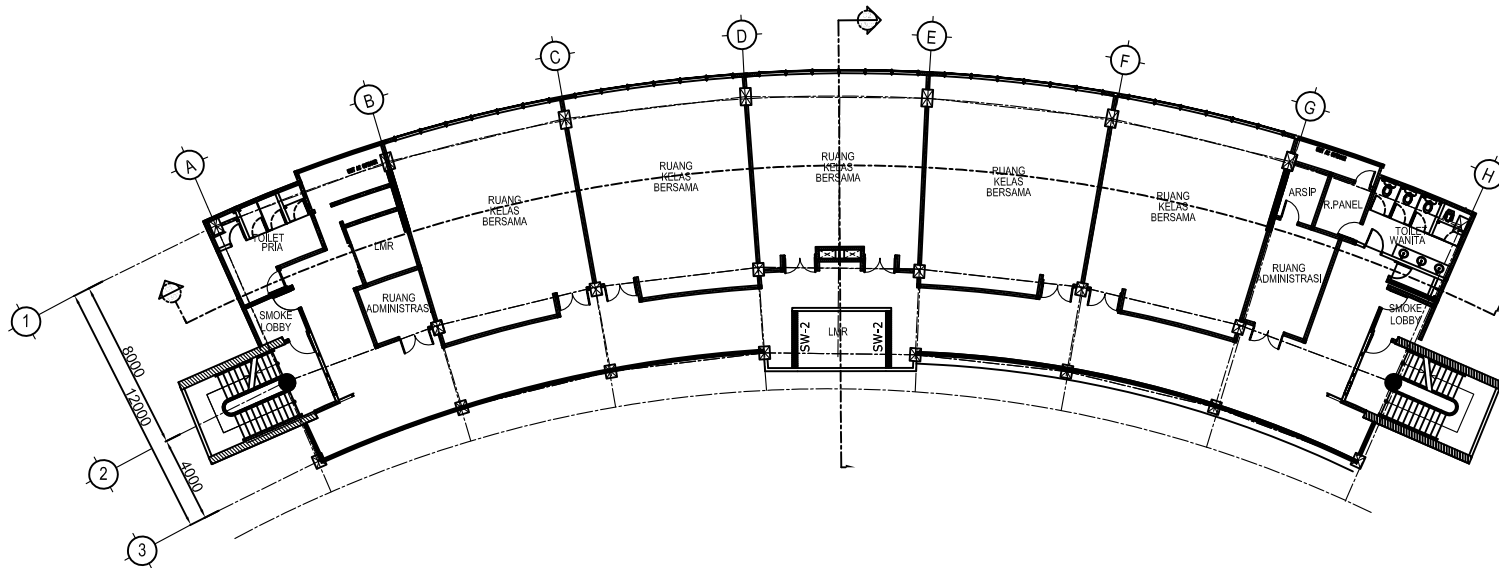
DENAH LANTAI 1
DENAH LANTAI 2 - 3

SKALA

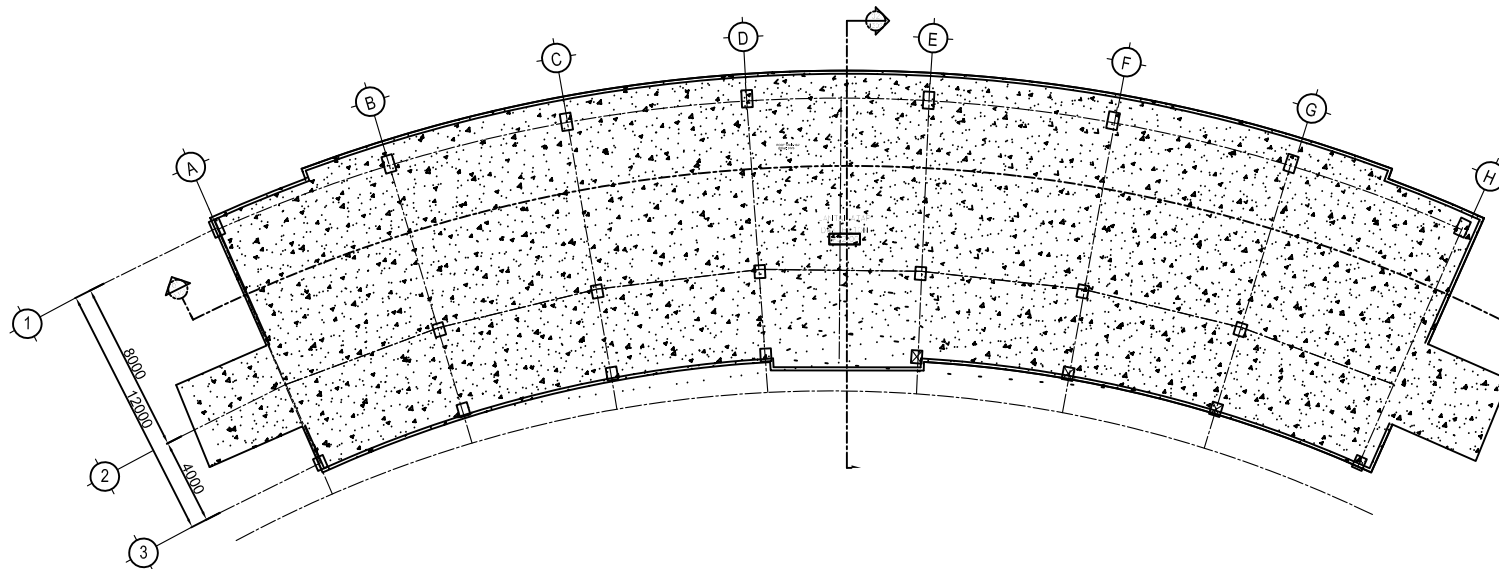
1 : 100

REVISI

KODE	NO. GBR	JML. GBR
ARS	01	25



DENAH LANTAI 4-7
SKALA 1 : 100



DENAH LANTAI ATAP
SKALA 1 : 100

INSTITUT



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI LINTAS JALUR S1 TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERKUATAN GEDUNG DENGAN MENGGUNAKAN
CARBON FIBER REINFORCED POLYMER
(CFRP)

STUDI KASUS MENGGUNAKAN LAYOUT GEDUNG
LABORATORIUM C-DAST DAN RUANG KULIAH BERSAMA
UNIVERSITAS JEMBER

DOSEN PEMBIMBING I

PROF. DR. IR. TRIWULAN, DEA

DOSEN PEMBIMBING II

DR. TECHN. PUJO AJI, ST., MT.

MAHASISWA

YUDITH VEMMY
3114.106.019

JUDUL GAMBAR

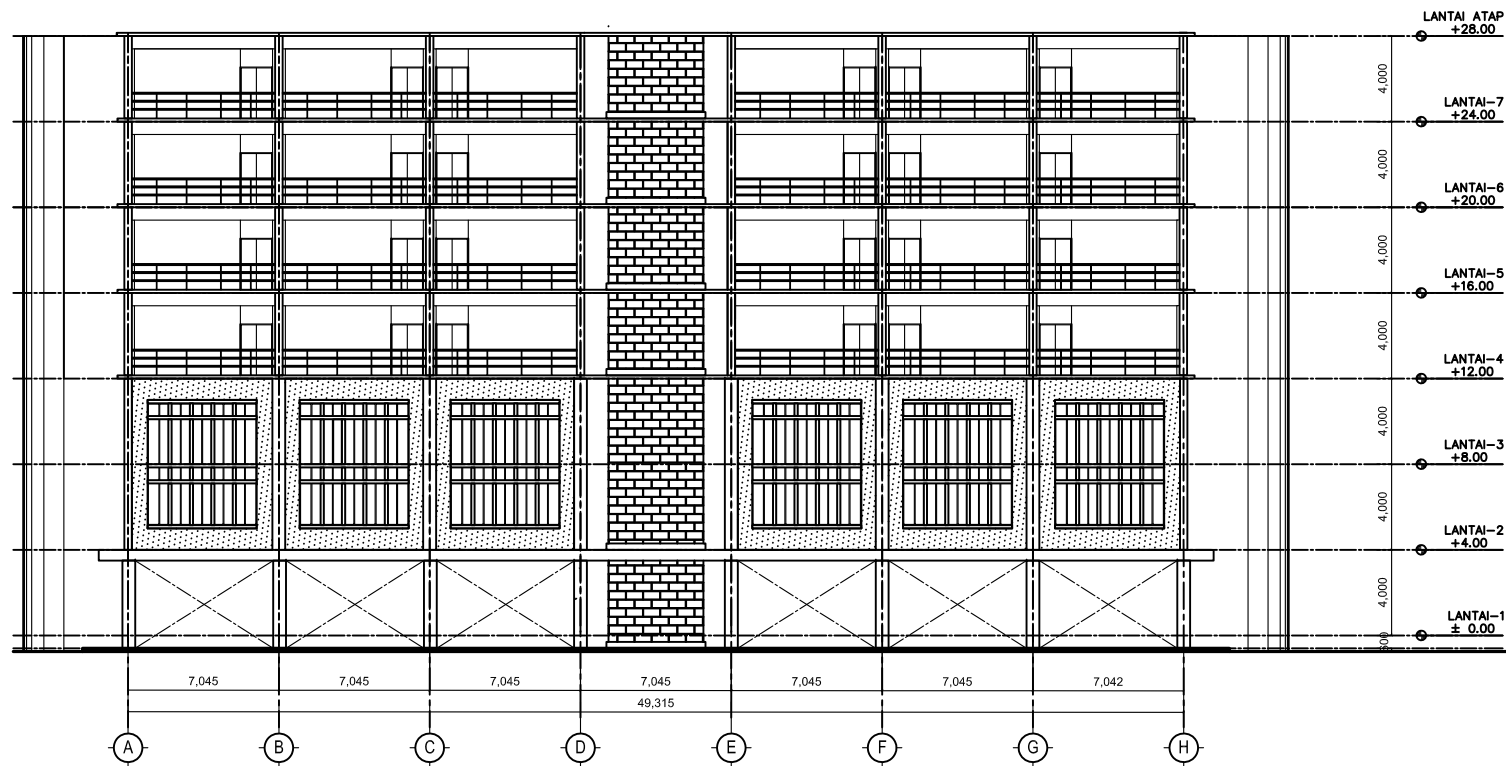
DENAH LANTAI 4 - 7
DENAH LANTAI ATAP

SKALA

1 : 100

REVISI

KODE	NO. GBR	JML. GBR
ARS	02	25



TAMPAK DEPAN
SKALA 1:100

INSTITUT



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI LINTAS JALUR S1 TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERKUATAN GEDUNG DENGAN MENGGUNAKAN
CARBON FIBER REINFORCED POLYMER
(CFRP)

STUDI KASUS MENGGUNAKAN LAYOUT GEDUNG
LABORATORIUM C-DAST DAN RUANG KULIAH BERSAMA
UNIVERSITAS JEMBER

DOSEN PEMBIMBING I

PROF. DR. IR. TRIWULAN, DEA

DOSEN PEMBIMBING II

DR. TECHN. PUJO AJI, ST., MT.

MAHASISWA

YUDITH VEMMY
3114.106.019

JUDUL GAMBAR

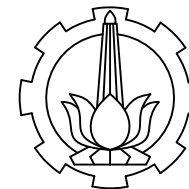
TAMPAK DEPAN

SKALA

1 : 100

REVISI

KODE	NO. GBR	JML. GBR
ARS	03	25



JUDUL TUGAS AKHIR

PERKUATAN GEDUNG DENGAN MENGGUNAKAN
CARBON FIBER REINFORCED POLYMER
(CFRP)

STUDI KASUS MENGGUNAKAN LAYOUT GEDUNG
LABORATORIUM C-DAST DAN RUANG KULIAH BERSAMA
UNIVERSITAS JEMBER

DOSEN PEMBIMBING I

PROF. DR. IR. TRIWULAN, DEA

DOSEN PEMBIMBING II

DR. TECHN. PUJO AJI, ST., MT.

MAHASISWA

YUDITH VEMMY
3114.106.019

JUDUL GAMBAR

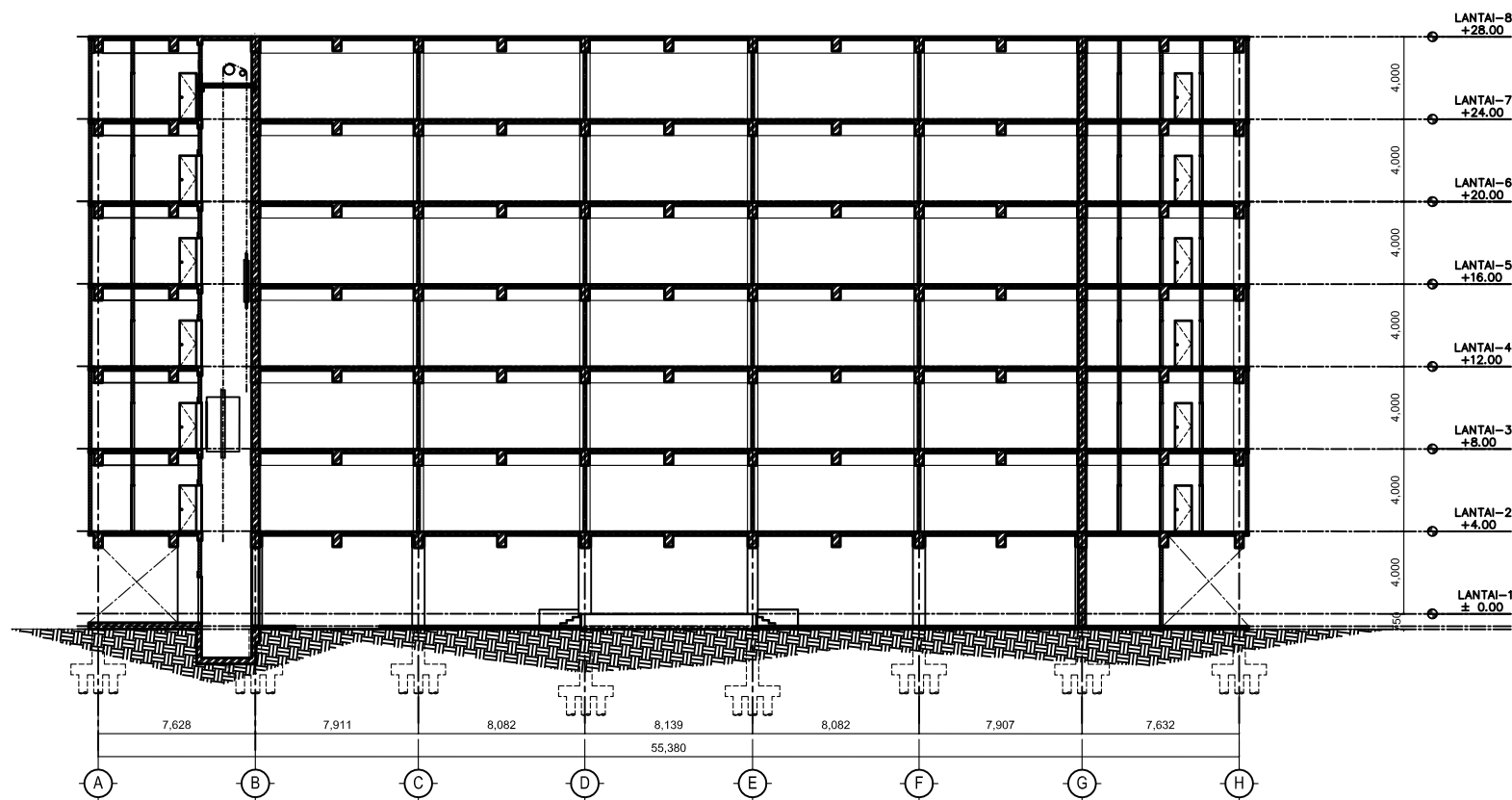
POTONGAN 1

SKALA

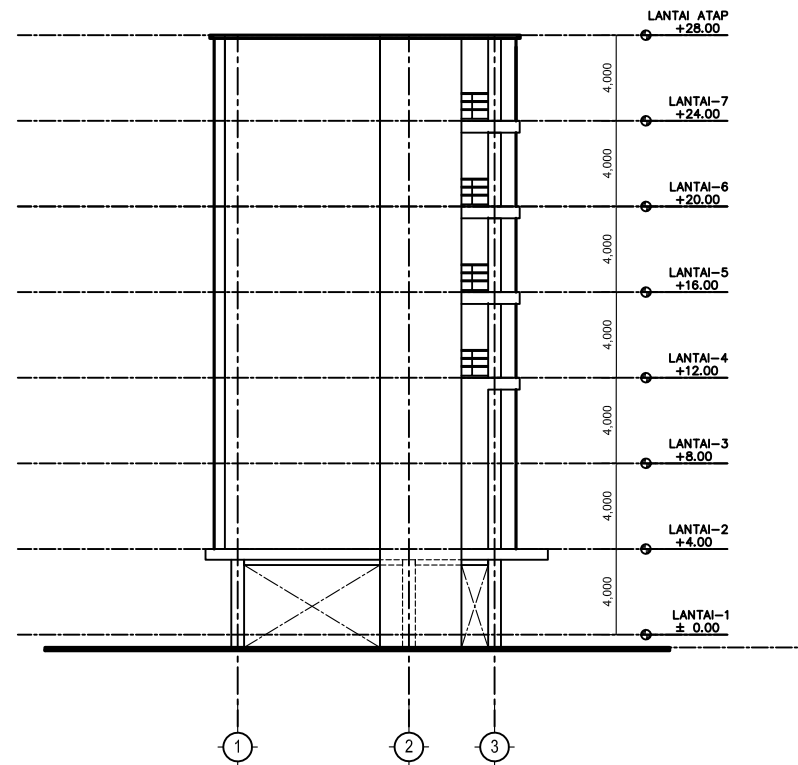
1 : 100

REVISI

KODE	NO. GBR	JML. GBR
ARS	04	25

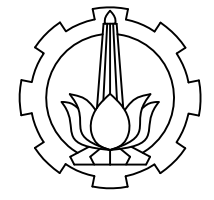


POTONGAN 1
SKALA 1 : 100



 TAMPAK SAMPING
SKALA 1 : 100

INSTITUT



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI LINTAS JALUR S1 TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERKUATAN GEDUNG DENGAN MENGGUNAKAN
CARBON FIBER REINFORCED POLYMER
(CFRP)

STUDI KASUS MENGGUNAKAN LAYOUT GEDUNG
LABORATORIUM C-DAST DAN RUANG KULIAH BERSAMA
UNIVERSITAS JEMBER

DOSEN PEMBIMBING I

PROF. DR. IR. TRIWULAN, DEA

DOSEN PEMBIMBING II

DR. TECHN. PUJO AJI, ST., MT.

MAHASISWA

YUDITH VEMMY
3114.106.019

JUDUL GAMBAR

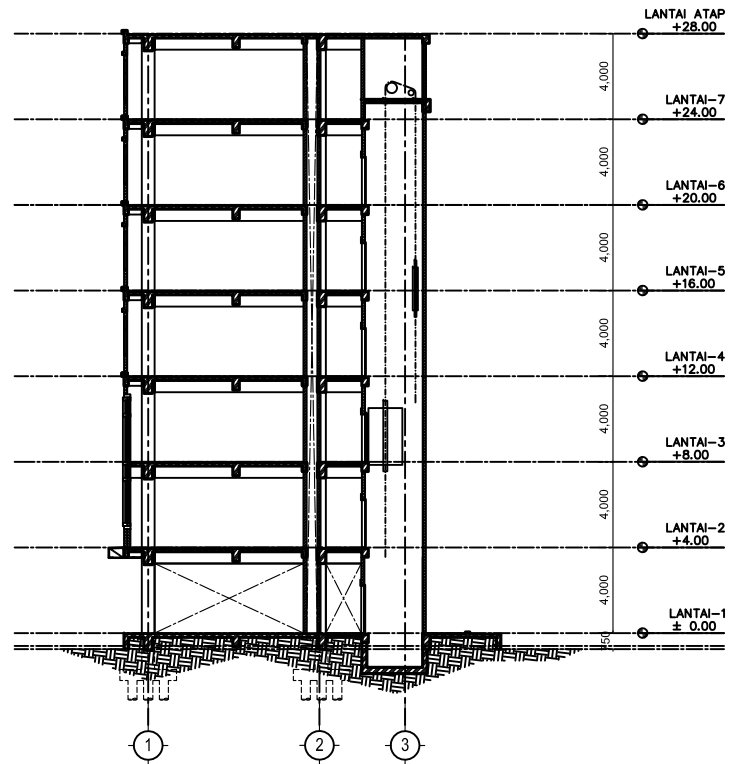
TAMPAK SAMPING

SKALA

1 : 100

REVISI

KODE	NO. GBR	JML. GBR
ARS	05	25



POTONGAN 2
SKALA 1 : 100

INSTITUT



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI LINTAS JALUR S1 TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERKUATAN GEDUNG DENGAN MENGGUNAKAN
CARBON FIBER REINFORCED POLYMER
(CFRP)

STUDI KASUS MENGGUNAKAN LAYOUT GEDUNG
LABORATORIUM C-DAST DAN RUANG KULIAH BERSAMA
UNIVERSITAS JEMBER

DOSEN PEMBIMBING I

PROF. DR. IR. TRIWULAN, DEA

DOSEN PEMBIMBING II

DR. TECHN. PUJO AJI, ST., MT.

MAHASISWA

YUDITH VEMMY
3114.106.019

JUDUL GAMBAR

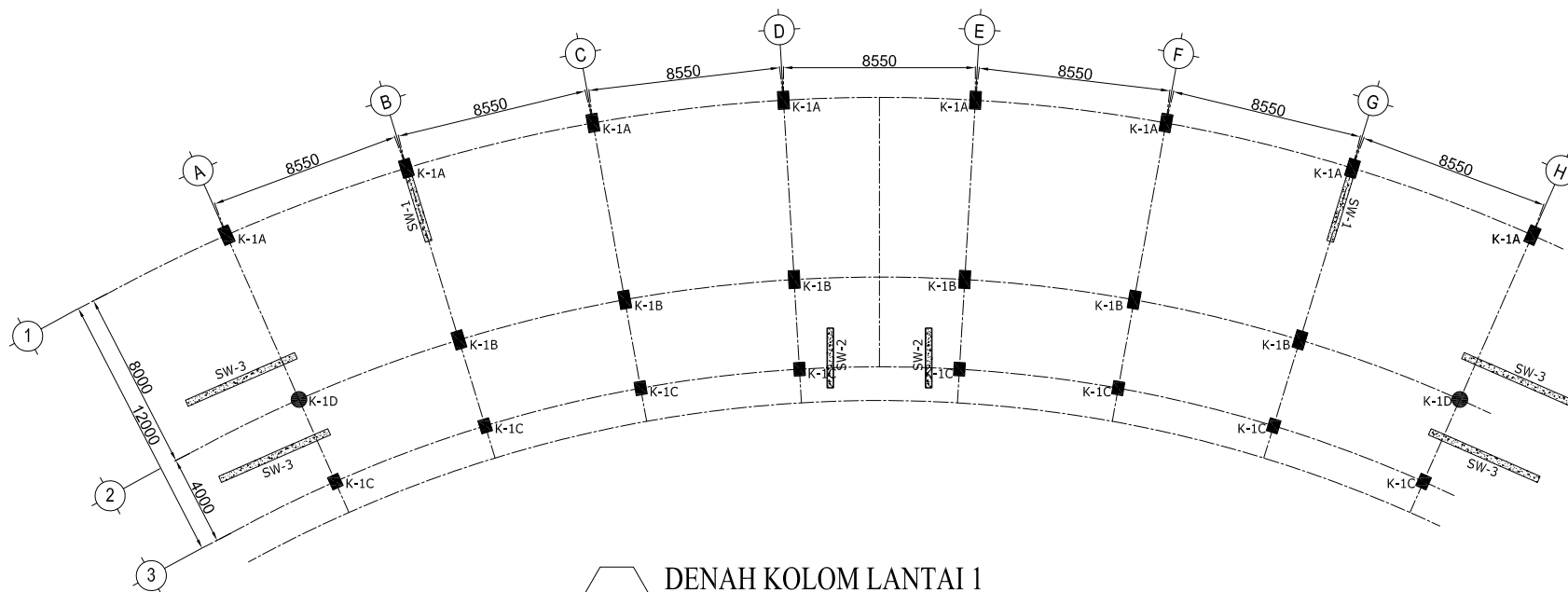
POTONGAN 2

SKALA

1 : 100

REVISI

KODE	NO. GBR	JML. GBR
ARS	06	25



DENAH KOLOM LANTAI 1
SKALA 1 : 100

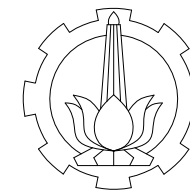
TYPE KOLOM		K-1A
		30 D25
UKURAN		500 X 800
SENGKANG	ATAS	D13-150
	TENGAH	D13-200
	BAWAH	D13-200
	JOINT	D13-100
PERKUATAN GESER		CFRP WRAP 218C - 2 LEMBAR

TYPE KOLOM		K-1B
		20 D25
UKURAN		500 X 800
SENGKANG	ATAS	D13-150
	TENGAH	D13-200
	BAWAH	D13-200
	JOINT	D13-100

TYPE KOLOM		K-1C
		16 D16
UKURAN		500 X 600
SENGKANG	ATAS	D10-150
	TENGAH	D10-200
	BAWAH	D10-150
	JOINT	D10-100

TYPE KOLOM		K-1D
		18 D19
UKURAN		φ 60
SENGKANG	ATAS	D13-150
	TENGAH	D13-200
	BAWAH	D13-200
	JOINT	D13-100

INSTITUT



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI LINTAS JALUR S1 TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERKUATAN GEDUNG DENGAN MENGGUNAKAN
CARBON FIBER REINFORCED POLYMER
(CFRP)

STUDI KASUS MENGGUNAKAN LAYOUT GEDUNG
LABORATORIUM C-DAST DAN RUANG KULIAH BERSAMA
UNIVERSITAS JEMBER

DOSEN PEMBIMBING I

PROF. DR. IR. TRIWULAN, DEA

DOSEN PEMBIMBING II

DR. TECHN. PUJO AJI, ST., MT.

MAHASISWA

YUDITH VEMMY
3114.106.019

JUDUL GAMBAR

DENAH KOLOM LANTAI 1
DETAIL KOLOM

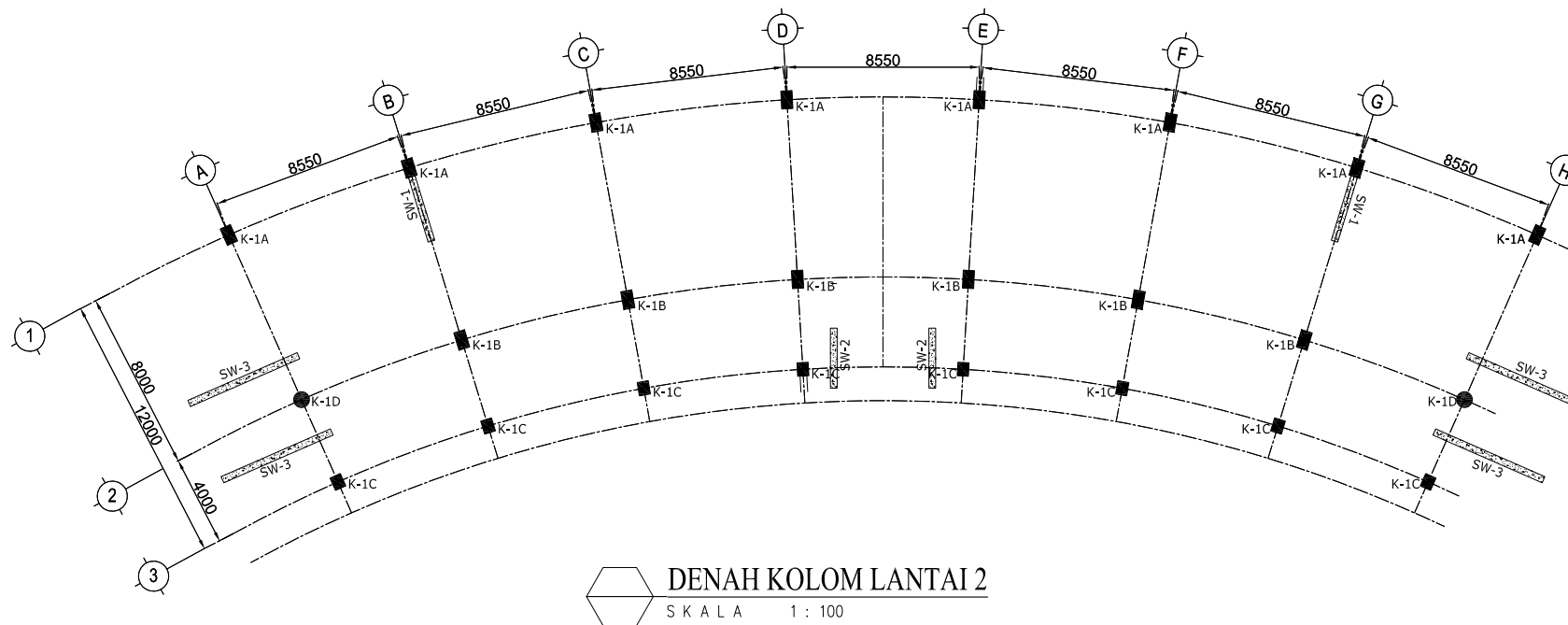
SKALA

1 : 100

1 : 75

REVISI

KODE	NO. GBR	JML. GBR
STR	07	25



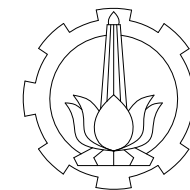
TYPE KOLOM		K-1A
		30 D25
UKURAN		500 X 800
SENGKANG	ATAS	D13-150
	TENGAH	D13-200
	BAWAH	D13-200
	JOINT	D13-100

TYPE KOLOM		K-1B
		20 D25
UKURAN		500 X 800
SENGKANG	ATAS	D13-150
	TENGAH	D13-200
	BAWAH	D13-200
	JOINT	D13-100
PERKUATAN GESER		CFRP WRAP 218C - 1 LEMBAR

TYPE KOLOM		K-1C
		16 D16
UKURAN		500 X 600
SENGKANG	ATAS	D10-150
	TENGAH	D10-200
	BAWAH	D10-150
	JOINT	D10-100

TYPE KOLOM		K-1D
		18 D19
UKURAN		Ø 60
SENGKANG	ATAS	D13-150
	TENGAH	D13-200
	BAWAH	D13-200
	JOINT	D13-100

INSTITUT



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI LINTAS JALUR S1 TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERKUATAN GEDUNG DENGAN MENGGUNAKAN
CARBON FIBER REINFORCED POLYMER
(CFRP)

STUDI KASUS MENGGUNAKAN LAYOUT GEDUNG
LABORATORIUM C-DAST DAN RUANG KULIAH BERSAMA
UNIVERSITAS JEMBER

DOSEN PEMBIMBING I

PROF. DR. IR. TRIWULAN, DEA

DOSEN PEMBIMBING II

DR. TECHN. PUJO AJI, ST., MT.

MAHASISWA

YUDITH VEMMY
3114.106.019

JUDUL GAMBAR

DENAH KOLOM LANTAI 2
DETAIL KOLOM

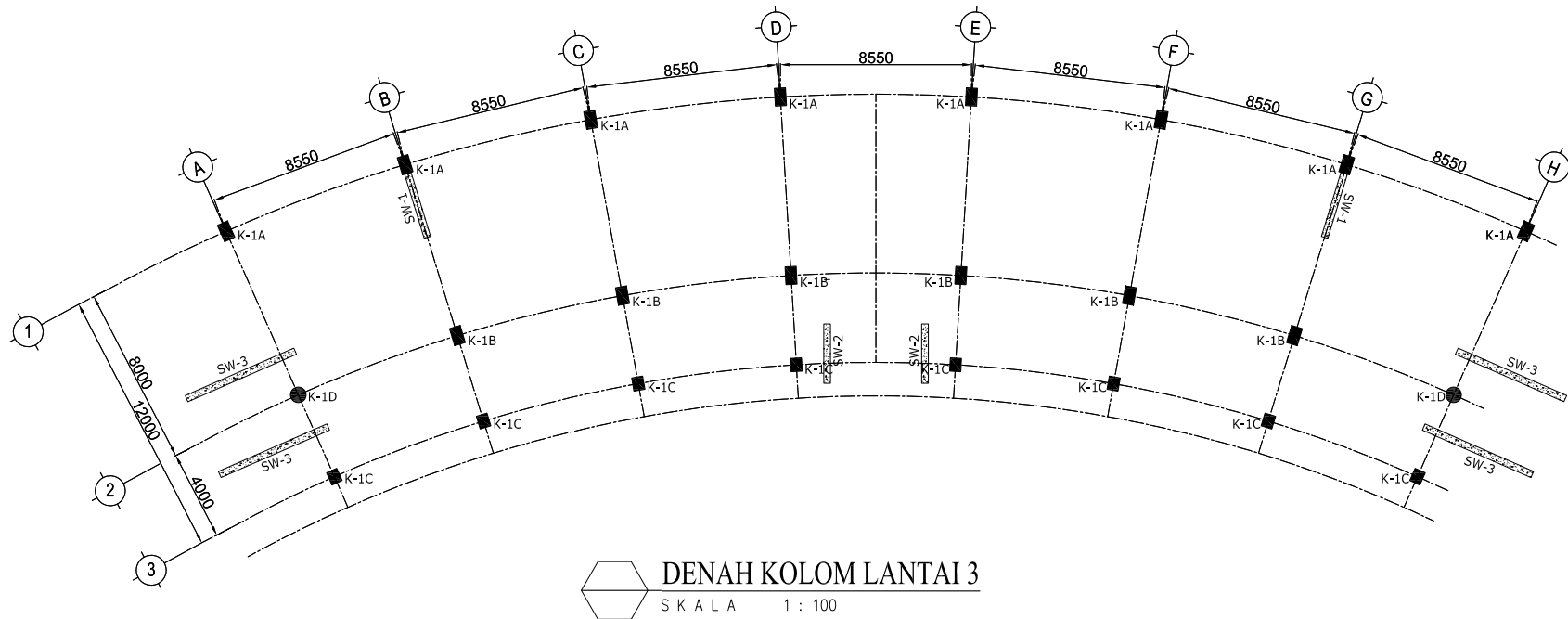
SKALA


1 : 100

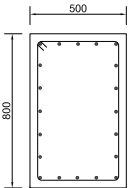
1 : 75

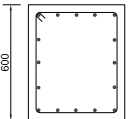
REVISI

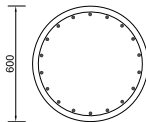
KODE	NO. GBR	JML. GBR
STR	08	



TYPE KOLOM		K-1A
		30 D25
UKURAN		500 X 800
SENGKANG	ATAS	D13-150
	TENGAH	D13-200
	BAWAH	D13-200
	JOINT	D13-100

TYPE KOLOM		K-1B
		20 D25
UKURAN		500 X 800
SENGKANG	ATAS	D13-150
	TENGAH	D13-200
	BAWAH	D13-200
	JOINT	D13-100

TYPE KOLOM		K-1C
		
		16 D16
		500 X 600
SENGKANG	ATAS	D10-150
	TENGAH	D10-200
	BAWAH	D10-150
	JOINT	D10-100

TYPE KOLOM		K-1D
		 <p>600</p> <p>18 D19</p>
UKURAN		Ø 60
SENGKANG	ATAS	D13-150
	TENGAH	D13-200
	BAWAH	D13-200
	JOINT	D13-100



JUDUL TUGAS AKHIR

 PERKUATAN GEDUNG DENGAN MENGGUNAKAN
 CARBON FIBER REINFORCED POLYMER
 (CFRP)

 STUDI KASUS MENGGUNAKAN LAYOUT GEDUNG
 LABORATORIUM C-DAST DAN RUANG KULIAH BERSAMA
 UNIVERSITAS JEMBER

DOSEN PEMBIMBING I

PROF. DR. IR. TRIWULAN, DEA

DOSEN PEMBIMBING II

DR. TECHN. PUJO AJI, ST., MT.

MAHASISWA

 YUDITH VEMMY
 3114.106.019

JUDUL GAMBAR

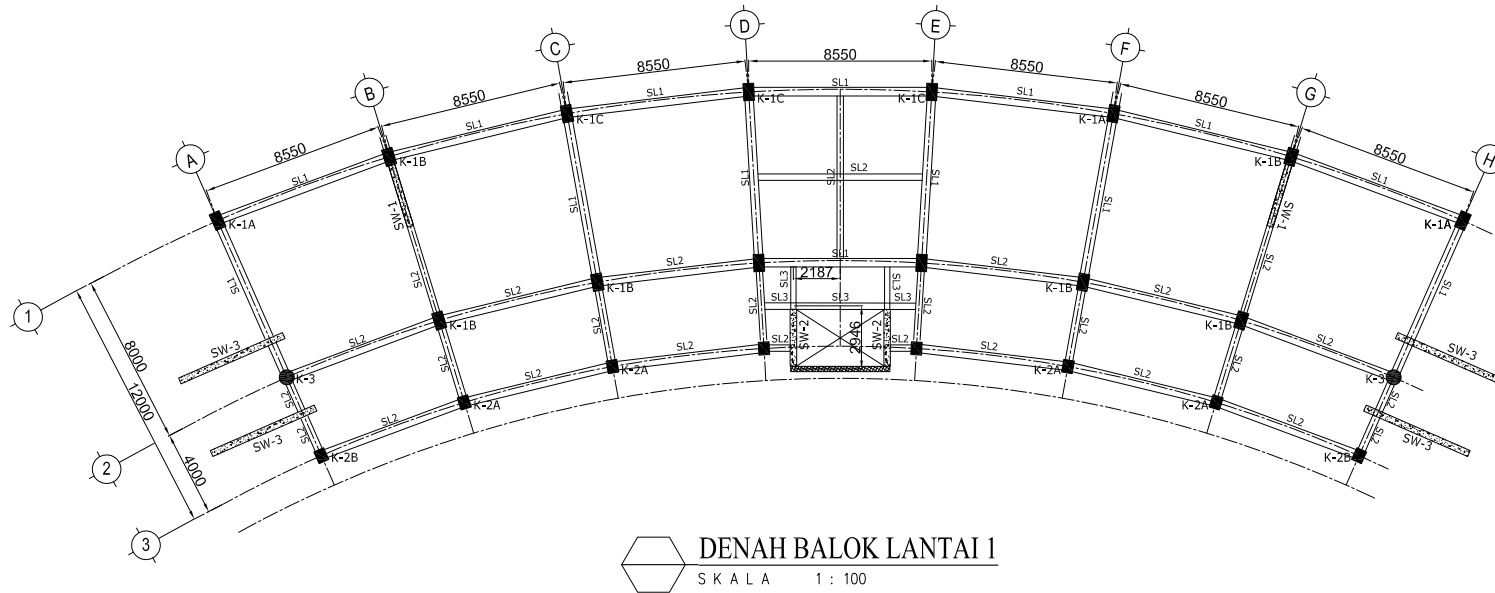
 DENAH SLOOF
 DETAIL SLOOF

SKALA

 1 : 100
 1 : 75

REVISI

KODE	NO. GBR	JML. GBR
STR	10	



TYPE	SL1	
	TUMPUAN	LAPANGAN
UKURAN	400 X 750	
Tul. Atas	7 D 22	4 D 22
Tul. Bawah	4 D 22	6 D 22
Tul. Pinggang	4 D 19	4 D 19
Senggang	D13 - 130	D13 - 180

TYPE	SL2	
	TUMPUAN	LAPANGAN
UKURAN	300 X 600	
Tul. Atas	5 D 19	3 D 19
Tul. Bawah	3 D 19	4 D 19
Tul. Pinggang	2 D 13	2 D 13
Senggang	D13 - 150	D13 - 200

TYPE	SL3	
	TUMPUAN	LAPANGAN
UKURAN	250 X 500	
Tul. Atas	5 D 22	3 D 22
Tul. Bawah	4 D 22	4 D 22
Tul. Pinggang	2 D 19	2 D 19
Senggang	D13 - 100	D13 - 150



JUDUL TUGAS AKHIR

PERKUATAN GEDUNG DENGAN MENGGUNAKAN
CARBON FIBER REINFORCED POLYMER
(CFRP)

STUDI KASUS MENGGUNAKAN LAYOUT GEDUNG
LABORATORIUM C-DAST DAN RUANG KULIAH BERSAMA
UNIVERSITAS JEMBER

DOSEN PEMBIMBING I

PROF. DR. IR. TRIWULAN, DEA

DOSEN PEMBIMBING II

DR. TECHN. PUJO AJI, ST., MT.

MAHASISWA

YUDITH VEMMY
3114.106.019

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK LANTAI 2
DETAIL BALOK

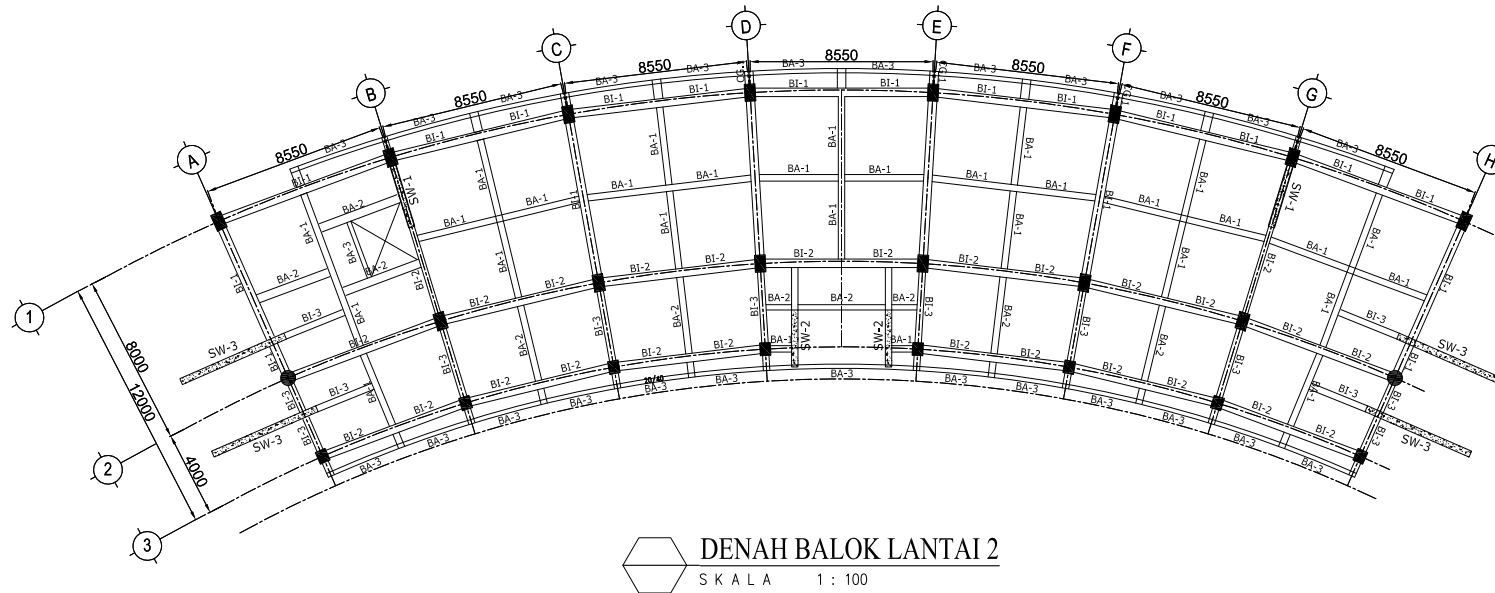
SKALA

1 : 100

1 : 75

REVISI

KODE	NO. GBR	JML. GBR
STR	11	



TYPE	BI-1	
	TUMPUAN	LAPANGAN
UKURAN	400 X 750	
Tul. Atas	7 D 22	4 D 22
Tul. Bawah	4 D 22	6 D 22
Tul. Pinggang	4 D 19	4 D 19
Sengkang	D13 - 130	D13 - 180

TYPE	BI-2	
	TUMPUAN	LAPANGAN
UKURAN	400 X 700	
Tul. Atas	6 D 22	3 D 22
Tul. Bawah	3 D 22	5 D 22
Tul. Pinggang	4 D 16	4 D 16
Sengkang	D13 - 100	D13 - 150

TYPE	BI-3	
	TUMPUAN	LAPANGAN
UKURAN	300 X 600	
Tul. Atas	6 D 22	3 D 22
Tul. Bawah	3 D 22	4 D 22
Tul. Pinggang	2 D 13	2 D 13
Sengkang	D13 - 150	D13 - 200

TYPE	BA-1	
	TUMPUAN	LAPANGAN
UKURAN	300 X 600	
Tul. Atas	5 D 19	3 D 19
Tul. Bawah	3 D 19	4 D 19
Tul. Pinggang	2 D 13	2 D 13
Sengkang	D13 - 150	D13 - 200

TYPE	BA-2	
	TUMPUAN	LAPANGAN
UKURAN	250 X 500	
Tul. Atas	5 D 22	3 D 22
Tul. Bawah	4 D 22	4 D 22
Tul. Pinggang	2 D 19	2 D 19
Sengkang	D13 - 100	D13 - 150

TYPE	BA-3	
	TUMPUAN	LAPANGAN
UKURAN	200 X 400	
Tul. Atas	4 D 16	2 D 16
Tul. Bawah	2 D 16	3 D 16
Tul. Pinggang	----	----
Sengkang	D10 - 150	D10 - 200



JUDUL TUGAS AKHIR

 PERKUATAN GEDUNG DENGAN MENGGUNAKAN
 CARBON FIBER REINFORCED POLYMER
 (CFRP)

 STUDI KASUS MENGGUNAKAN LAYOUT GEDUNG
 LABORATORIUM C-DAST DAN RUANG KULIAH BERSAMA
 UNIVERSITAS JEMBER

DOSEN PEMBIMBING I

PROF. DR. IR. TRIWULAN, DEA

DOSEN PEMBIMBING II

DR. TECHN. PUJO AJI, ST., MT.

MAHASISWA

 YUDITH VEMMY
 3114.106.019

JUDUL GAMBAR

 DENAH BALOK LANTAI 3
 DETAIL BALOK

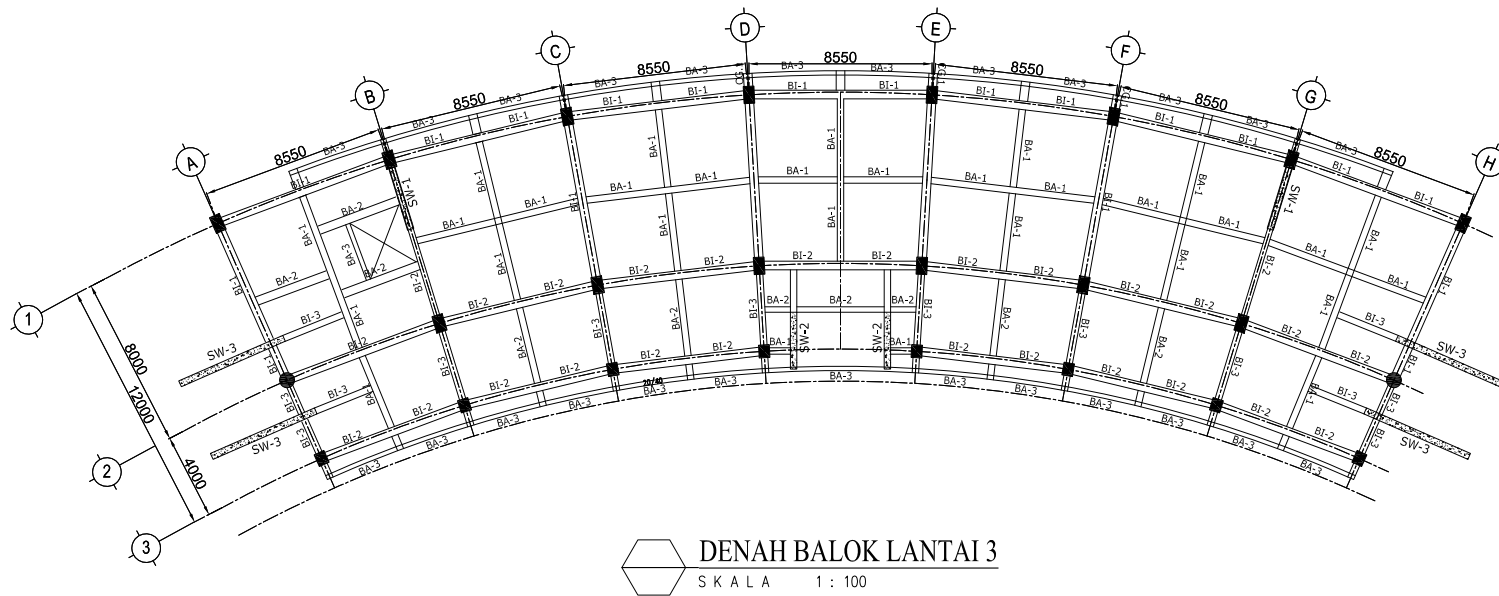
SKALA

1 : 100

1 : 75

REVISI

KODE	NO. GBR	JML. GBR
STR	12	



TYPE	BI-1	
	TUMPUAN	LAPANGAN
UKURAN	400 X 750	
Tul. Atas	7 D 22	4 D 22
Tul. Bawah	4 D 22	6 D 22
Tul. Pinggang	4 D 19	4 D 19
Sengkang	D13 - 130	D13 - 180

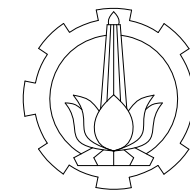
TYPE	BI-2	
	TUMPUAN	LAPANGAN
UKURAN	400 X 700	
Tul. Atas	6 D 22	3 D 22
Tul. Bawah	3 D 22	5 D 22
Tul. Pinggang	4 D 16	4 D 16
Sengkang	D13 - 100	D13 - 150

TYPE	BI-3	
	TUMPUAN	LAPANGAN
UKURAN	300 X 600	
Tul. Atas	6 D 22	3 D 22
Tul. Bawah	3 D 22	4 D 22
Tul. Pinggang	2 D 13	2 D 13
Sengkang	D13 - 150	D13 - 200

TYPE	BA-1	
	TUMPUAN	LAPANGAN
UKURAN	300 X 600	
Tul. Atas	5 D 19	3 D 19
Tul. Bawah	3 D 19	4 D 19
Tul. Pinggang	2 D 13	2 D 13
Sengkang	D13 - 150	D13 - 200

TYPE	BA-2	
	TUMPUAN	LAPANGAN
UKURAN	250 X 500	
Tul. Atas	5 D 22	3 D 22
Tul. Bawah	4 D 22	4 D 22
Tul. Pinggang	2 D 19	2 D 19
Sengkang	D13 - 100	D13 - 150

TYPE	BA-3	
	TUMPUAN	LAPANGAN
UKURAN	200 X 400	
Tul. Atas	4 D 16	2 D 16
Tul. Bawah	2 D 16	3 D 16
Tul. Pinggang	----	----
Sengkang	D10 - 150	D10 - 200



JUDUL TUGAS AKHIR

PERKUATAN GEDUNG DENGAN MENGGUNAKAN
CARBON FIBER REINFORCED POLYMER
(CFRP)

STUDI KASUS MENGGUNAKAN LAYOUT GEDUNG
LABORATORIUM C-DAST DAN RUANG KULIAH BERSAMA
UNIVERSITAS JEMBER

DOSEN PEMBIMBING I

PROF. DR. IR. TRIWULAN, DEA

DOSEN PEMBIMBING II

DR. TECHN. PUJO AJI, ST., MT.

MAHASISWA

YUDITH VEMMY
3114.106.019

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK LANTAI 4
EKSISTING

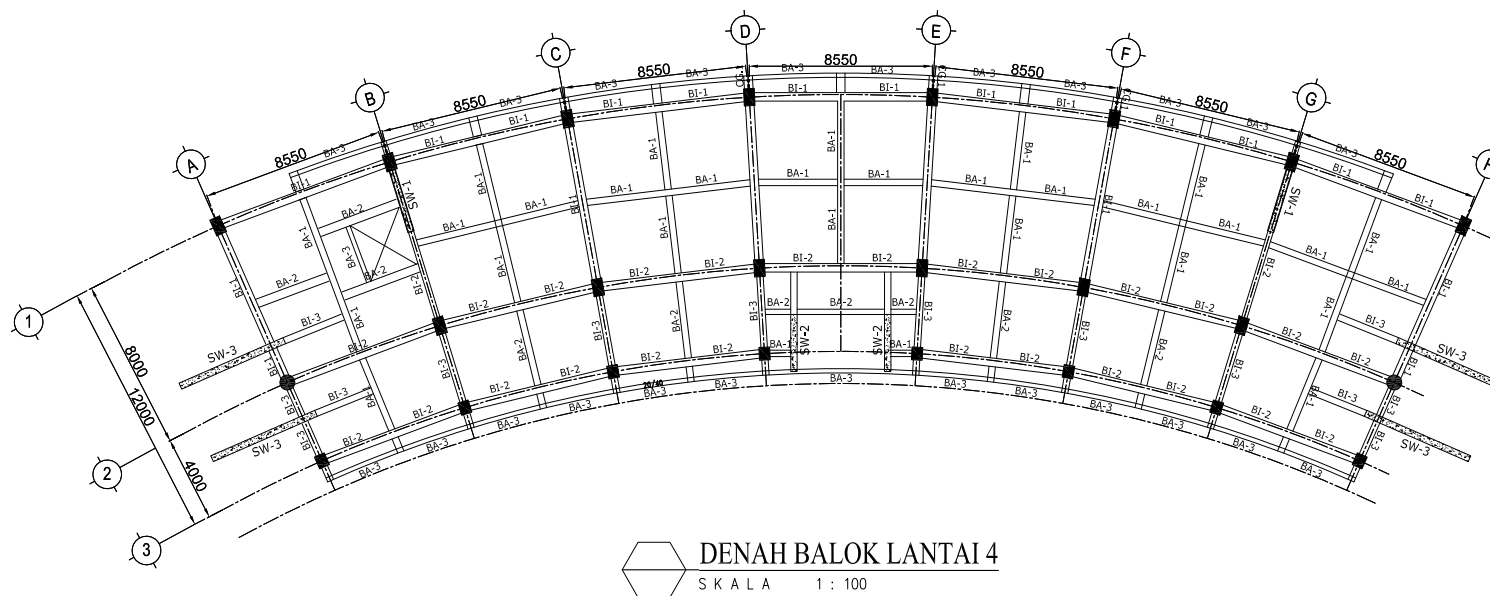
SKALA

1 : 100

1 : 75

REVISI

KODE	NO. GBR	JML. GBR
STR	13	



TYPE	BI-1	
	TUMPUAN	LAPANGAN
UKURAN	400 X 750	
Tul. Atas	7 D 22	4 D 22
Tul. Bawah	4 D 22	6 D 22
Tul. Pinggang	4 D 19	4 D 19
Senggang	D13 - 130	D13 - 180

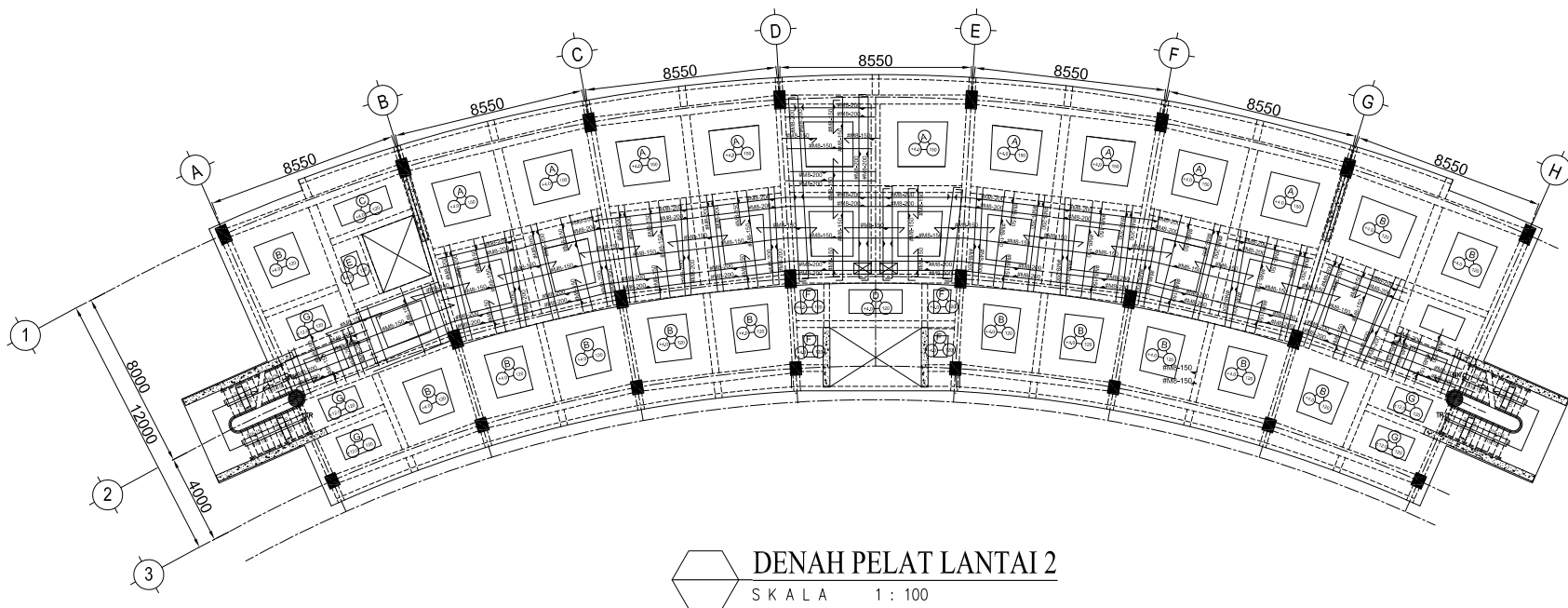
TYPE	BI-2	
	TUMPUAN	LAPANGAN
UKURAN	400 X 700	
Tul. Atas	6 D 22	3 D 22
Tul. Bawah	3 D 22	5 D 22
Tul. Pinggang	4 D 16	4 D 16
Senggang	D13 - 100	D13 - 150

TYPE	BI-3	
	TUMPUAN	LAPANGAN
UKURAN	300 X 600	
Tul. Atas	6 D 22	3 D 22
Tul. Bawah	3 D 22	4 D 22
Tul. Pinggang	2 D 13	2 D 13
Senggang	D13 - 150	D13 - 200

TYPE	BA-1	
	TUMPUAN	LAPANGAN
UKURAN	300 X 600	
Tul. Atas	5 D 19	3 D 19
Tul. Bawah	3 D 19	4 D 19
Tul. Pinggang	2 D 13	2 D 13
Senggang	D13 - 150	D13 - 200

TYPE	BA-2	
	TUMPUAN	LAPANGAN
UKURAN	250 X 500	
Tul. Atas	5 D 22	3 D 22
Tul. Bawah	4 D 22	4 D 22
Tul. Pinggang	2 D 19	2 D 19
Senggang	D13 - 100	D13 - 150

TYPE	BA-3	
	TUMPUAN	LAPANGAN
UKURAN	200 X 400	
Tul. Atas	4 D 16	2 D 16
Tul. Bawah	2 D 16	3 D 16
Tul. Pinggang	----	----
Senggang	D10 - 150	D10 - 200



INSTITUT



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI LINTAS JALUR S1 TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERKUATAN GEDUNG DENGAN MENGGUNAKAN
CARBON FIBER REINFORCED POLYMER
(CFRP)

STUDI KASUS MENGGUNAKAN LAYOUT GEDUNG
LABORATORIUM C-DAST DAN RUANG KULIAH BERSAMA
UNIVERSITAS JEMBER

DOSEN PEMBIMBING I

PROF. DR. IR. TRIWULAN, DEA

DOSEN PEMBIMBING II

DR. TECHN. PUJO AJI, ST., MT.

MAHASISWA

YUDITH VEMMY
3114.106.019

JUDUL GAMBAR

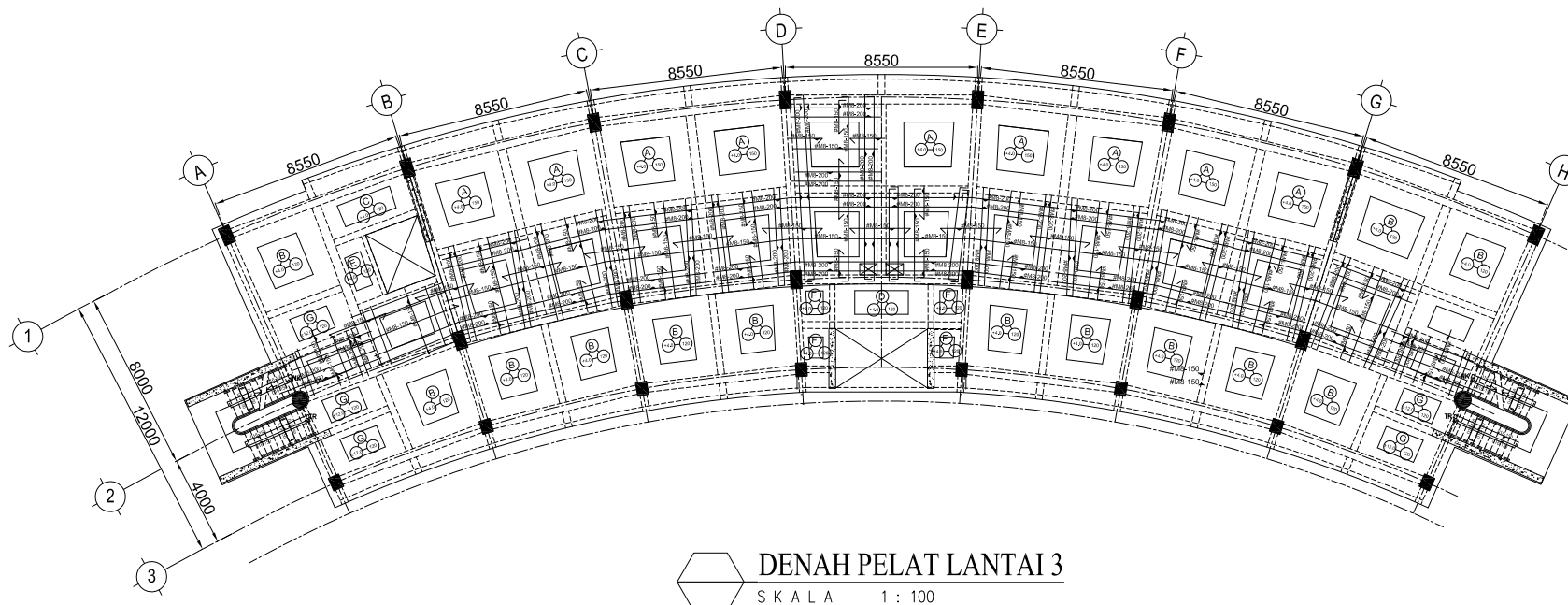
DENAH PELAT LANTAI 2

SKALA

1 : 100

REVISI

KODE	NO. GBR	JML. GBR
STR	14	



INSTITUT



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI LINTAS JALUR S1 TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERKUATAN GEDUNG DENGAN MENGGUNAKAN
CARBON FIBER REINFORCED POLYMER
(CFRP)

STUDI KASUS MENGGUNAKAN LAYOUT GEDUNG
LABORATORIUM C-DAST DAN RUANG KULIAH BERSAMA
UNIVERSITAS JEMBER

DOSEN PEMBIMBING I

PROF. DR. IR. TRIWULAN, DEA

DOSEN PEMBIMBING II

DR. TECHN. PUJO AJI, ST., MT.

MAHASISWA

YUDITH VEMMY
3114.106.019

JUDUL GAMBAR

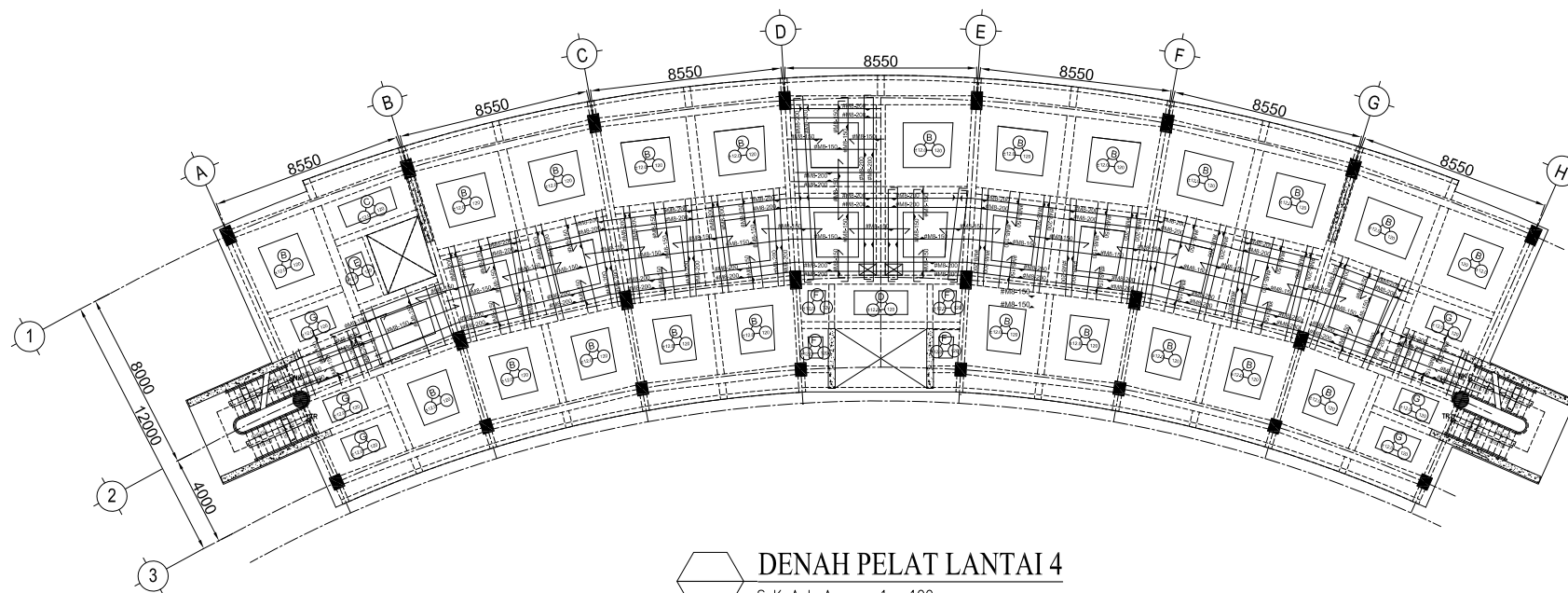
DENAH PELAT LANTAI 3

SKALA

1 : 100

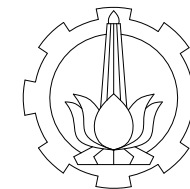
REVISI

KODE	NO. GBR	JML. GBR
STR	15	



DENAH PELAT LANTAI 4
SKALA 1 : 100

INSTITUT



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI LINTAS JALUR S1 TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERKUATAN GEDUNG DENGAN MENGGUNAKAN
CARBON FIBER REINFORCED POLYMER
(CFRP)

STUDI KASUS MENGGUNAKAN LAYOUT GEDUNG
LABORATORIUM C-DAST DAN RUANG KULIAH BERSAMA
UNIVERSITAS JEMBER

DOSEN PEMBIMBING I

PROF. DR. IR. TRIWULAN, DEA

DOSEN PEMBIMBING II

DR. TECHN. PUJO AJI, ST., MT.

MAHASISWA

YUDITH VEMMY
3114.106.019

JUDUL GAMBAR

DENAH PELAT LANTAI 4


SKALA

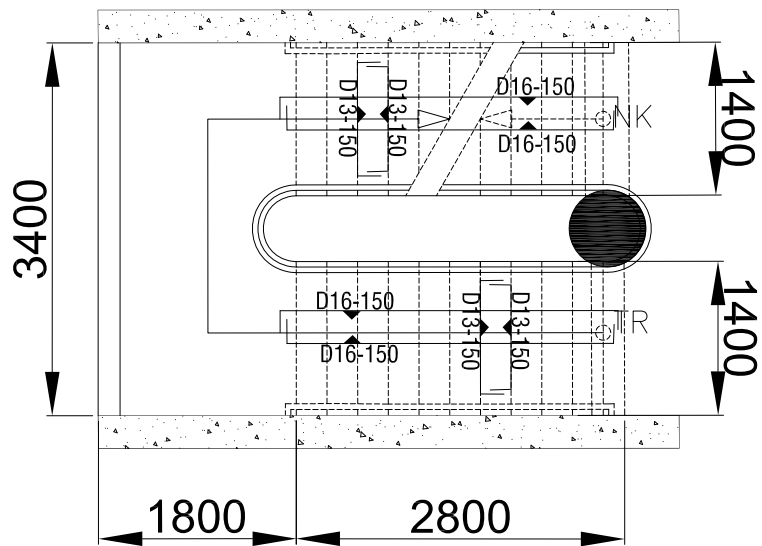
1 : 100

REVISI

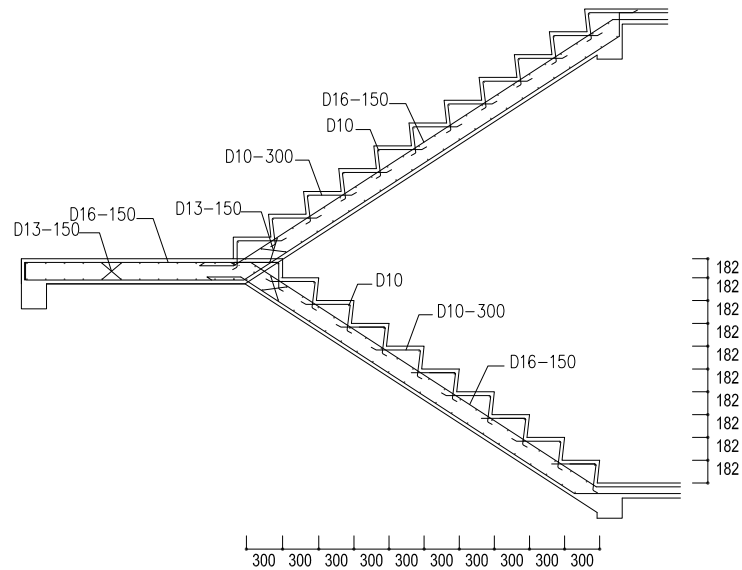
KODE	NO. GBR	JML. GBR
STR	16	



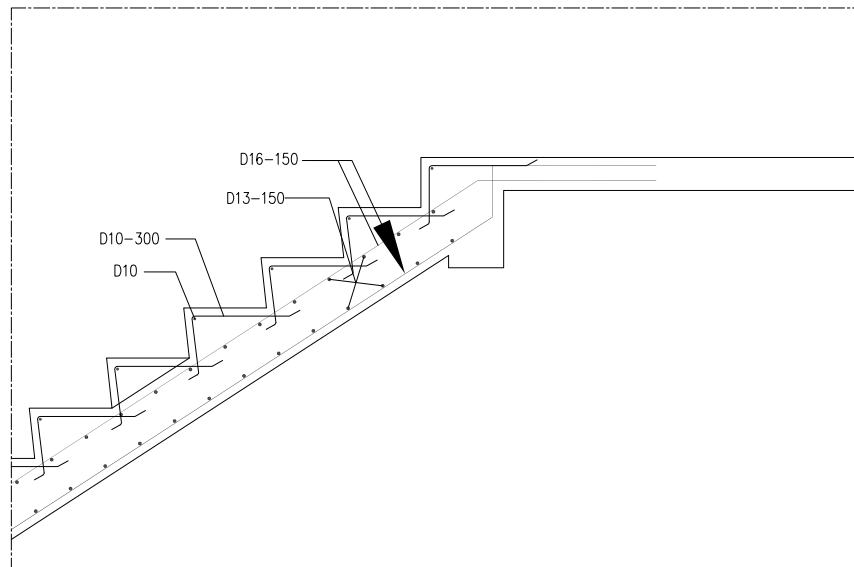
INSTITUT		
		
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN PROGRAM STUDI LINTAS JALUR S1 TEKNIK SIPIL		
JUDUL TUGAS AKHIR		
PERKUATAN GEDUNG DENGAN MENGGUNAKAN CARBON FIBER REINFORCED POLYMER (CFRP) STUDI KASUS MENGGUNAKAN LAYOUT GEDUNG LABORATORIUM C-DAST DAN RUANG KULIAH BERSAMA UNIVERSITAS JEMBER		
DOSEN PEMBIMBING I		
PROF. DR. IR. TRIWULAN, DEA		
DOSEN PEMBIMBING II		
DR. TECHN. PUJO AJI, ST., MT.		
MAHASISWA		
<u>YUDITH VEMMY</u> 3114.106.019		
JUDUL GAMBAR		
DETAIL PELAT LANTAI		
SKALA		
1 : 20		
REVISI		
KODE	NO. GBR	JML. GBR
STR	17	



RENCANA TANGGA
SKALA 1 : 20



DETAIL PENULANGAN TANGGA
SKALA 1 : 20



DETAIL PENULANGAN TANGGA
SKALA 1 : 10

INSTITUT



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI LINTAS JALUR S1 TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERKUATAN GEDUNG DENGAN MENGGUNAKAN
CARBON FIBER REINFORCED POLYMER
(CFRP)

STUDI KASUS MENGGUNAKAN LAYOUT GEDUNG
LABORATORIUM C-DAST DAN RUANG KULIAH BERSAMA
UNIVERSITAS JEMBER

DOSEN PEMBIMBING I

PROF. DR. IR. TRIWULAN, DEA

DOSEN PEMBIMBING II

DR. TECHN. PUJO AJI, ST., MT.

MAHASISWA

YUDITH VEMMY
3114.106.019

JUDUL GAMBAR

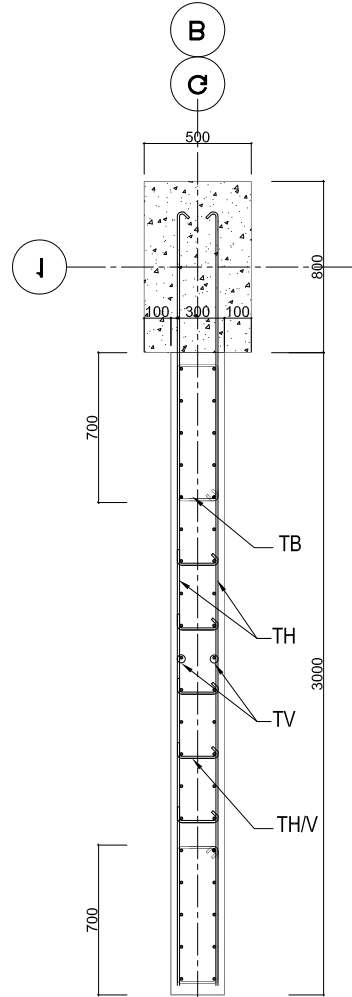
DETAIL TANGGA

SKALA

1 : 20

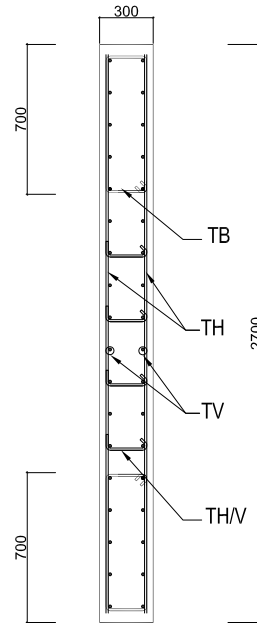
REVISI

KODE	NO. GBR	JML. GBR
STR	18	



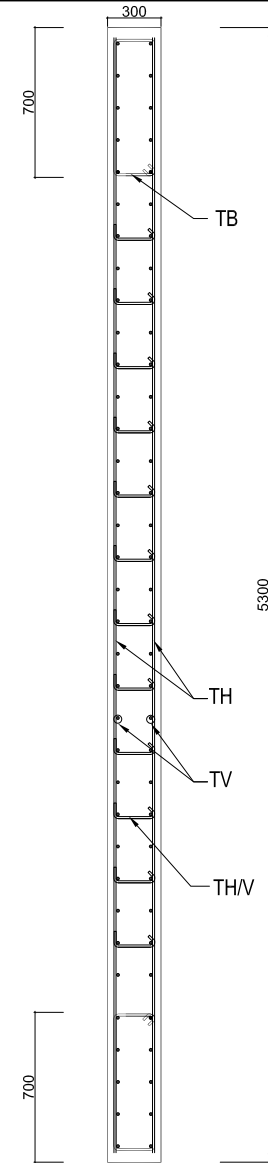
SHEARWALL SW-1
SKALA 1 : 10

TEBAL	LANTAI	TULANGAN VERTIKAL (TV)	TULANGAN HORIZONTAL (TH)	TULANGAN KAIT (TH/V)	TULANGAN BOUNDARY (TB)
25 cm	LANTAI ATAP	-	-	-	-
	LANTAI 8	D10-150	D10-200	D10-300	D10-200
	LANTAI 7	D10-150	D10-200	D10-300	D10-200
	LANTAI 6	D10-150	D10-200	D10-300	D10-200
	LANTAI 5	D10-150	D10-200	D10-300	D10-200
	LANTAI 4	D10-150	D10-200	D10-300	D10-200
	LANTAI 3	D13-150	D13-200	D10-300	D10-200
	LANTAI 2	D13-150	D13-200	D10-300	D10-200
	LANTAI 1	D22-150	D13-200	D10-300	D10-200
	LANTAI R. MEP	D22-150	D13-200	D10-300	D10-200



SHEARWALL SW-2
SKALA 1 : 10

TEBAL	LANTAI	TULANGAN VERTIKAL (TV)	TULANGAN HORIZONTAL (TH)	TULANGAN KAIT (TH/V)	TULANGAN BOUNDARY (TB)
25 cm	LANTAI ATAP	D10-150	D10-200	D10-300	D10-200
	LANTAI 8	D10-150	D10-200	D10-300	D10-200
	LANTAI 7	D10-150	D10-200	D10-300	D10-200
	LANTAI 6	D10-150	D10-200	D10-300	D10-200
	LANTAI 5	D10-150	D10-200	D10-300	D10-200
	LANTAI 4	D10-150	D10-200	D10-300	D10-200
	LANTAI 3	D13-150	D13-200	D10-300	D10-200
	LANTAI 2	D13-150	D13-200	D10-300	D10-200
	LANTAI 1	D22-150	D13-200	D10-300	D10-200
	LANTAI R. MEP	D22-150	D13-200	D10-300	D10-200



SHEARWALL SW-3
SKALA 1 : 10

TEBAL	LANTAI	TULANGAN VERTIKAL (TV)	TULANGAN HORIZONTAL (TH)	TULANGAN KAIT (TH/V)	TULANGAN BOUNDARY (TB)
25 cm	LANTAI ATAP	D10-150	D10-200	D10-300	D10-200
	LANTAI 8	D10-150	D10-200	D10-300	D10-200
	LANTAI 7	D10-150	D10-200	D10-300	D10-200
	LANTAI 6	D10-150	D10-200	D10-300	D10-200
	LANTAI 5	D10-150	D10-200	D10-300	D10-200
	LANTAI 4	D13-100	D10-200	D10-300	D10-200
	LANTAI 3	D13-100	D13-200	D10-300	D10-200
	LANTAI 2	D22-100	D13-200	D10-300	D10-200
	LANTAI 1	D22-100	D13-200	D10-300	D10-200
	LANTAI R. MEP	-	-	-	-

INSTITUT



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI LINTAS JALUR S1 TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERKUATAN GEDUNG DENGAN MENGGUNAKAN
CARBON FIBER REINFORCED POLYMER
(CFRP)

STUDI KASUS MENGGUNAKAN LAYOUT GEDUNG
LABORATORIUM C-DAST DAN RUANG KULIAH BERSAMA
UNIVERSITAS JEMBER

DOSEN PEMBIMBING I

PROF. DR. IR. TRIWULAN, DEA

DOSEN PEMBIMBING II

DR. TECHN. PUJO AJI, ST., MT.

MAHASISWA

YUDITH VEMMY
3114.106.019

JUDUL GAMBAR

DETAIL SHEARWALL

SKALA

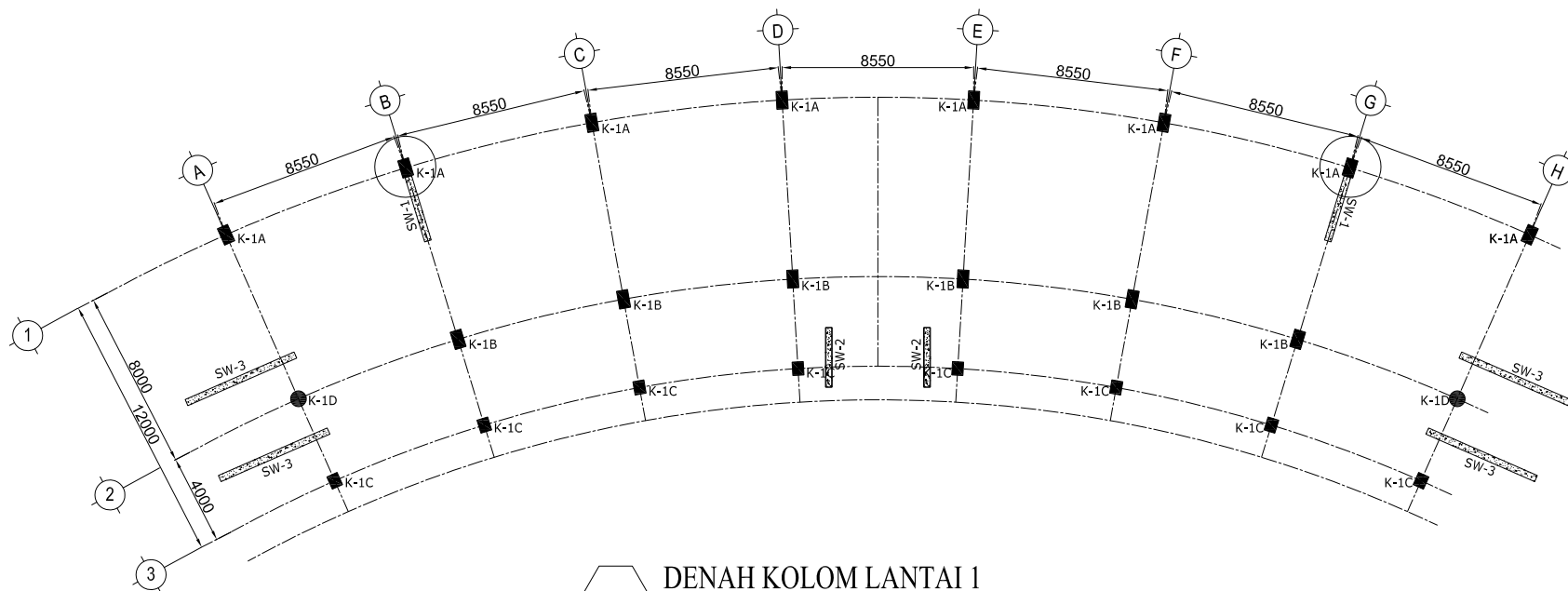
1 : 10

REVISI

KODE NO. GBR JML. GBR

STR

19



DENAH KOLOM LANTAI 1
SKALA 1 : 100

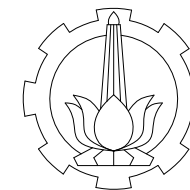
TYPE KOLOM		K-1A
UKURAN		500 X 800
SENGKANG	ATAS	D13-150
	TENGAH	D13-200
	BAWAH	D13-200
	JOINT	D13-100
PERKUATAN GESER		CFRP WRAP 218C - 2 LEMBAR

TYPE KOLOM		K-1B
UKURAN		500 X 800
SENGKANG	ATAS	D13-150
	TENGAH	D13-200
	BAWAH	D13-200
	JOINT	D13-100

TYPE KOLOM		K-1C
UKURAN		500 X 600
SENGKANG	ATAS	D10-150
	TENGAH	D10-200
	BAWAH	D10-150
	JOINT	D10-100

TYPE KOLOM		K-1D
UKURAN		Ø 60
SENGKANG	ATAS	D13-150
	TENGAH	D13-200
	BAWAH	D13-200
	JOINT	D13-100

INSTITUT



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI LINTAS JALUR S1 TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERKUATAN GEDUNG DENGAN MENGGUNAKAN
CARBON FIBER REINFORCED POLYMER
(CFRP)

STUDI KASUS MENGGUNAKAN LAYOUT GEDUNG
LABORATORIUM C-DAST DAN RUANG KULIAH BERSAMA
UNIVERSITAS JEMBER

DOSEN PEMBIMBING I

PROF. DR. IR. TRIWULAN, DEA

DOSEN PEMBIMBING II

DR. TECHN. PUJO AJI, ST., MT.

MAHASISWA

YUDITH VEMMY
3114.106.019

JUDUL GAMBAR

DENAH KOLOM LANTAI 1
DETAIL PERKUATAN KOLOM

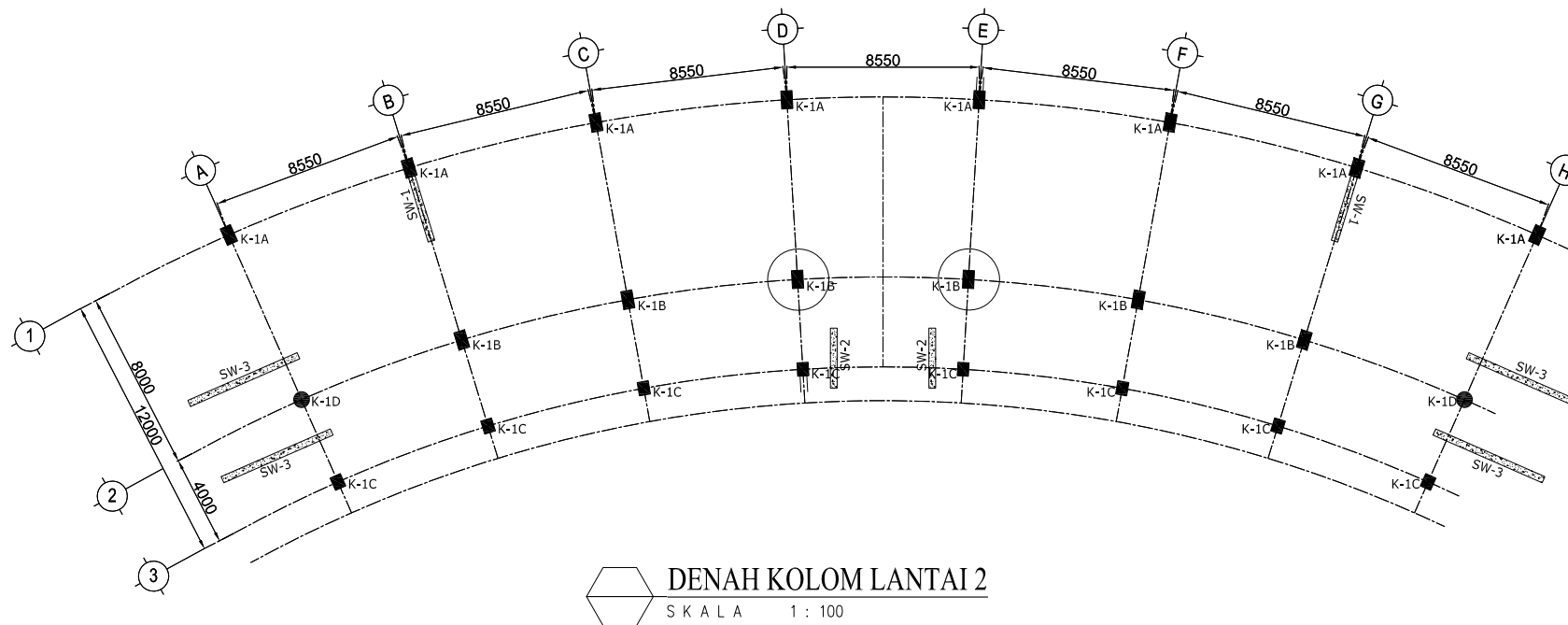
SKALA

1 : 100

1 : 75

REVISI

KODE	NO. GBR	JML. GBR
STR	20	25



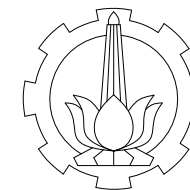
TYPE KOLOM		K-1A
		30 D25
UKURAN		500 X 800
SENGKANG	ATAS	D13-150
	TENGAH	D13-200
	BAWAH	D13-200
	JOINT	D13-100

TYPE KOLOM		K-1B
		20 D25
UKURAN		500 X 800
SENGKANG	ATAS	D13-150
	TENGAH	D13-200
	BAWAH	D13-200
	JOINT	D13-100
PERKUATAN GESER		CFRP WRAP 218C - 1 LEMBAR

TYPE KOLOM		K-1C
		16 D16
UKURAN		500 X 600
SENGKANG	ATAS	D10-150
	TENGAH	D10-200
	BAWAH	D10-150
	JOINT	D10-100

TYPE KOLOM		K-1D
		18 D19
UKURAN		Ø 60
SENGKANG	ATAS	D13-150
	TENGAH	D13-200
	BAWAH	D13-200
	JOINT	D13-100

INSTITUT



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI LINTAS JALUR S1 TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERKUATAN GEDUNG DENGAN MENGGUNAKAN
CARBON FIBER REINFORCED POLYMER
(CFRP)

STUDI KASUS MENGGUNAKAN LAYOUT GEDUNG
LABORATORIUM C-DAST DAN RUANG KULIAH BERSAMA
UNIVERSITAS JEMBER

DOSEN PEMBIMBING I

PROF. DR. IR. TRIWULAN, DEA

DOSEN PEMBIMBING II

DR. TECHN. PUJO AJI, ST., MT.

MAHASISWA

YUDITH VEMMY
3114.106.019

JUDUL GAMBAR

DENAH KOLOM LANTAI 2
DETAIL PERKUATAN KOLOM

SKALA

1 : 100

1 : 75

REVISI

KODE	NO. GBR	JML. GBR
STR	21	25



JUDUL TUGAS AKHIR

PERKUATAN GEDUNG DENGAN MENGGUNAKAN
CARBON FIBER REINFORCED POLYMER
(CFRP)

STUDI KASUS MENGGUNAKAN LAYOUT GEDUNG
LABORATORIUM C-DAST DAN RUANG KULIAH BERSAMA
UNIVERSITAS JEMBER

DOSEN PEMBIMBING I

PROF. DR. IR. TRIWULAN, DEA

DOSEN PEMBIMBING II

DR. TECHN. PUJO AJI, ST., MT.

MAHASISWA

YUDITH VEMMY
3114.106.019

JUDUL GAMBAR

BALOK LANTAI 3 YANG DIPERKUAT
BALOK LANTAI 4 YANG DIPERKUAT

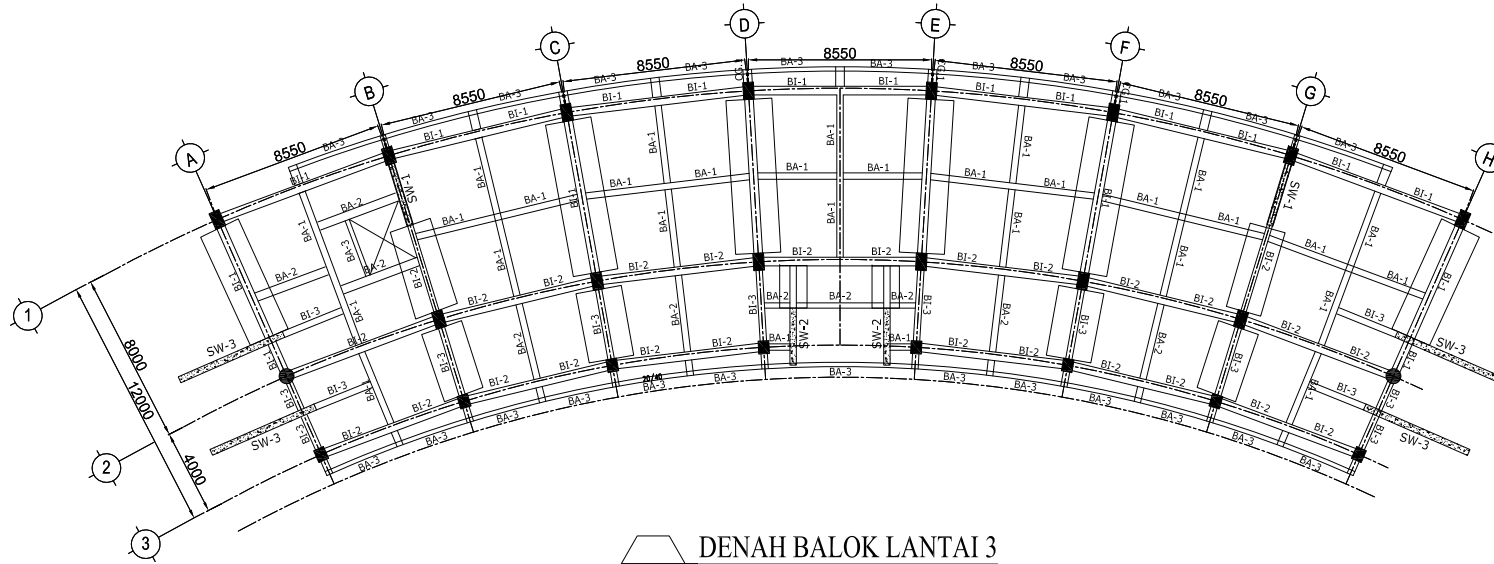
SKALA

1 : 100

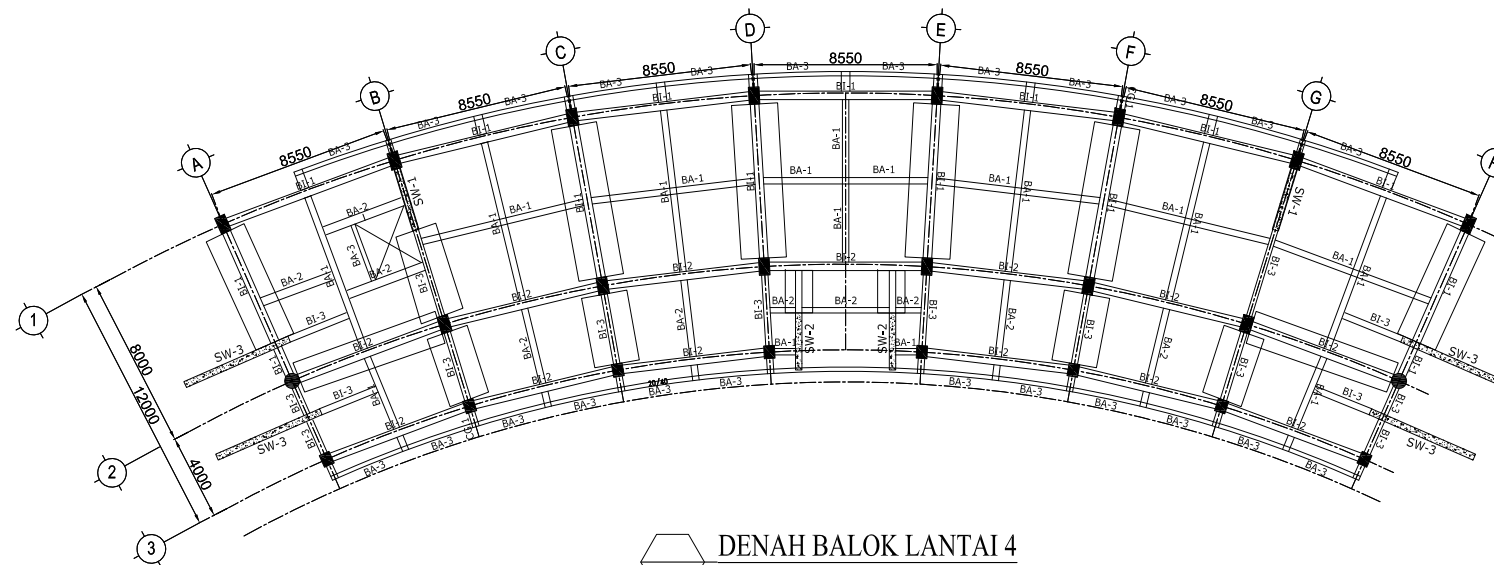
1 : 100

REVISI

KODE	NO. GBR	JML. GBR
STR	22	25

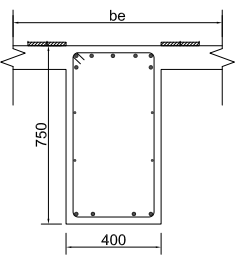
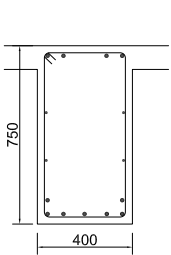


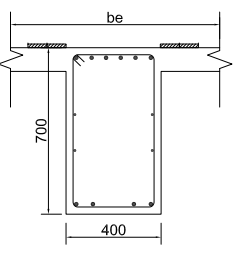
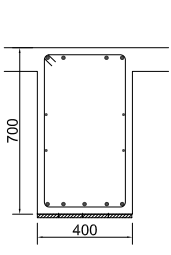
DENAH BALOK LANTAI 3
SKALA 1 : 100

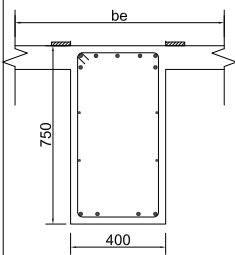
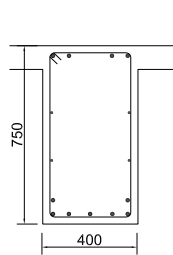


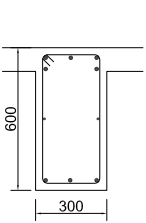
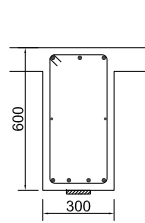
DENAH BALOK LANTAI 4
SKALA 1 : 100

BALOK LANTAI 3

TYPE	BI-1	
AS-C AS-D AS-E AS-F	TUMPUAN	LAPANGAN
		
	UKURAN	400 X 750
	Tul. Atas	7 D 22
	Tul. Bawah	4 D 22
	Tul. Pinggang	4 D 19
	Sengkang	D13 - 130
PERKUATAN	CFRP TAPE - 4 STRIP	---

TYPE	BI-2	
AS-B AS-G	TUMPUAN	LAPANGAN
		
	UKURAN	400 X 700
	Tul. Atas	6 D 22
	Tul. Bawah	3 D 22
	Tul. Pinggang	4 D 16
	Sengkang	D13 - 100
PERKUATAN	CFRP TAPE-4 STRIP	CFRP TAPE-4 STRIP

TYPE	BI-1	
AS-A AS-H	TUMPUAN	LAPANGAN
		
	UKURAN	400 X 750
	Tul. Atas	7 D 22
	Tul. Bawah	4 D 22
	Tul. Pinggang	4 D 19
	Sengkang	D13 - 130
PERKUATAN	CFRP TAPE - 2 STRIP	---

TYPE	BI-3	
AS-B AS-C AS-D AS-E AS-F AS-G	TUMPUAN	LAPANGAN
		
	UKURAN	300 X 600
	Tul. Atas	6 D 22
	Tul. Bawah	3 D 22
	Tul. Pinggang	2 D 13
	Sengkang	D13 - 150
PERKUATAN	---	CFRP TAPE-1 STRIP

INSTITUT



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI LINTAS JALUR S1 TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERKUATAN GEDUNG DENGAN MENGGUNAKAN
CARBON FIBER REINFORCED POLYMER
(CFRP)

STUDI KASUS MENGGUNAKAN LAYOUT GEDUNG
LABORATORIUM C-DAST DAN RUANG KULIAH BERSAMA
UNIVERSITAS JEMBER

DOSEN PEMBIMBING I

PROF. DR. IR. TRIWULAN, DEA

DOSEN PEMBIMBING II

DR. TECHN. PUJO AJI, ST., MT.

MAHASISWA

YUDITH VEMMY
3114.106.019

JUDUL GAMBAR

DETAIL PERKUATAN BALOK
LANTAI 3

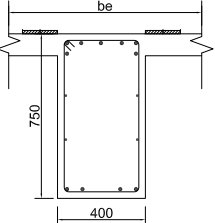
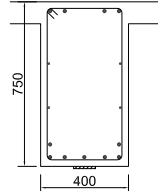
SKALA

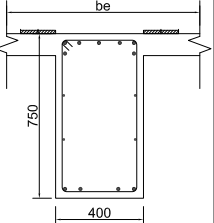
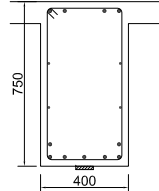
1 : 60

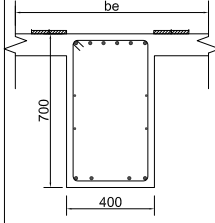
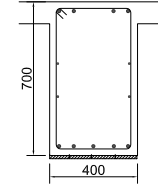
REVISI

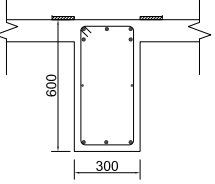
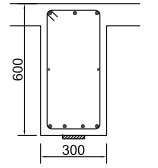
KODE	NO. GBR	JML. GBR
STR	23	25

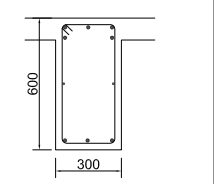
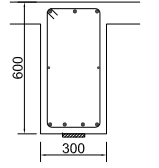
BALOK LANTAI 4

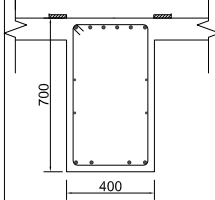
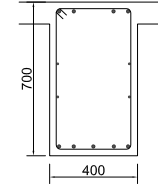
TYPE	BI-1	
AS-C AS-D AS-E AS-F	TUMPUAN	LAPANGAN
		
	400	400
	750	750
	be	
UKURAN	400 X 750	
Tul. Atas	7 D 22	4 D 22
Tul. Bawah	4 D 22	6 D 22
Tul. Pinggang	4 D 19	4 D 19
Sengkang	D13 - 130	D13 - 180
PERKUATAN	CFRP TAPE - 4 STRIP	CFRP TAPE - 1 STRIP

TYPE	BI-1	
AS-A AS-H	TUMPUAN	LAPANGAN
		
	400	400
	750	750
	be	
UKURAN	400 X 750	
Tul. Atas	7 D 22	4 D 22
Tul. Bawah	4 D 22	6 D 22
Tul. Pinggang	4 D 19	4 D 19
Sengkang	D13 - 130	D13 - 180
PERKUATAN	CFRP TAPE - 4 STRIP	CFRP TAPE - 1 STRIP

TYPE	BI-2	
AS-B AS-G	TUMPUAN	LAPANGAN
		
	400	400
	700	700
	be	
UKURAN	400 X 700	
Tul. Atas	6 D 22	3 D 22
Tul. Bawah	3 D 22	5 D 22
Tul. Pinggang	4 D 16	4 D 16
Sengkang	D13 - 100	D13 - 150
PERKUATAN	CFRP TAPE-4 STRIP	CFRP TAPE-4 STRIP

TYPE	BI-3	
AS-A AS-H	TUMPUAN	LAPANGAN
		
	300	300
	600	600
	be	
UKURAN	300 X 600	
Tul. Atas	6 D 22	3 D 22
Tul. Bawah	3 D 22	4 D 22
Tul. Pinggang	2 D 13	2 D 13
Sengkang	D13 - 150	D13 - 200
PERKUATAN	CFRP TAPE - 2 STRIP	CFRP TAPE - 1 STRIP

TYPE	BI-3	
AS-B AS-C AS-D AS-E AS-F AS-G	TUMPUAN	LAPANGAN
		
	300	300
	600	600
	be	
UKURAN	300 X 600	
Tul. Atas	6 D 22	3 D 22
Tul. Bawah	3 D 22	5 D 22
Tul. Pinggang	2 D 13	2 D 13
Sengkang	D13 - 150	D13 - 200
PERKUATAN	---	CFRP TAPE-1 STRIP

TYPE	BI-2	
AS-2-AB AS-2-GH	TUMPUAN	LAPANGAN
		
	400	400
	700	700
	be	
UKURAN	400 X 700	
Tul. Atas	6 D 22	3 D 22
Tul. Bawah	3 D 22	5 D 22
Tul. Pinggang	4 D 16	4 D 16
Sengkang	D13 - 100	D13 - 150
PERKUATAN	CFRP TAPE-2 STRIP	---

INSTITUT



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI LINTAS JALUR S1 TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERKUATAN GEDUNG DENGAN MENGGUNAKAN
CARBON FIBER REINFORCED POLYMER
(CFRP)

STUDI KASUS MENGGUNAKAN LAYOUT GEDUNG
LABORATORIUM C-DAST DAN RUANG KULIAH BERSAMA
UNIVERSITAS JEMBER

DOSEN PEMBIMBING I

PROF. DR. IR. TRIWULAN, DEA

DOSEN PEMBIMBING II

DR. TECHN. PUJO AJI, ST., MT.

MAHASISWA

YUDITH VEMMY
3114.106.019

JUDUL GAMBAR

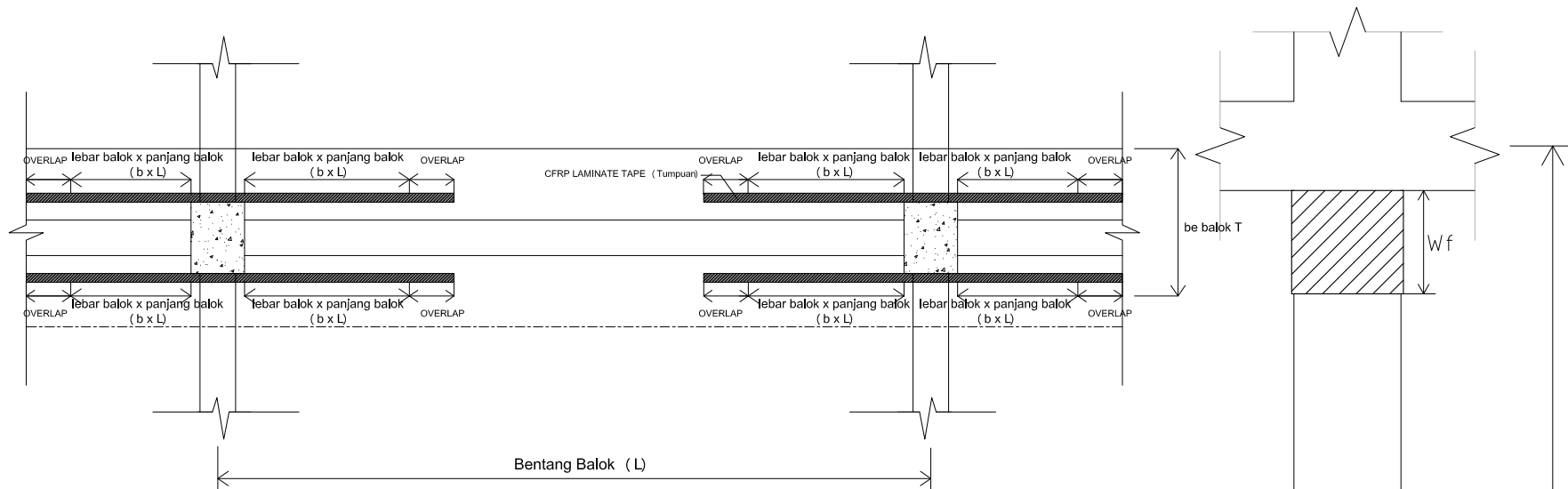
DETAIL PERKUATAN BALOK
LANTAI 4

SKALA

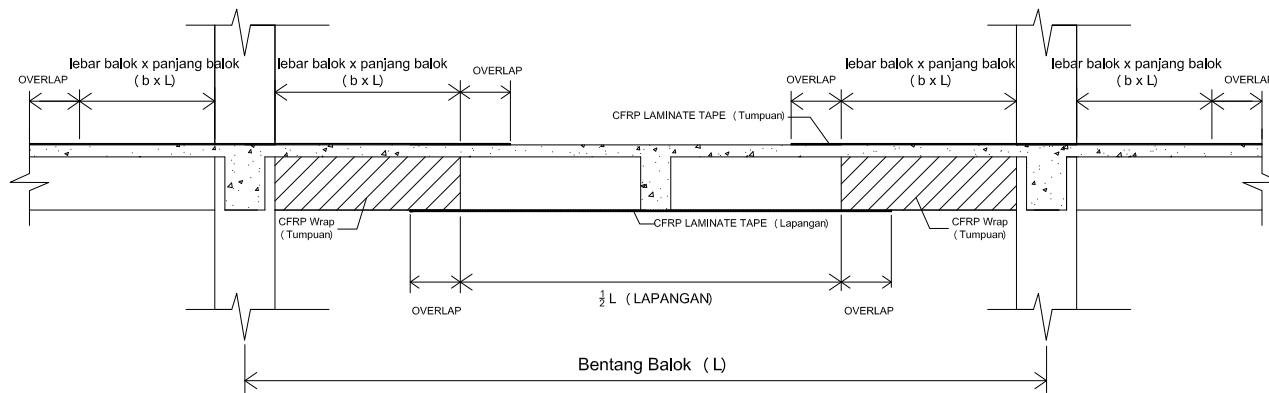
1 : 65

REVISI

KODE	NO. GBR	JML. GBR
STR	24	25



TAMPAK ATAS BALOK

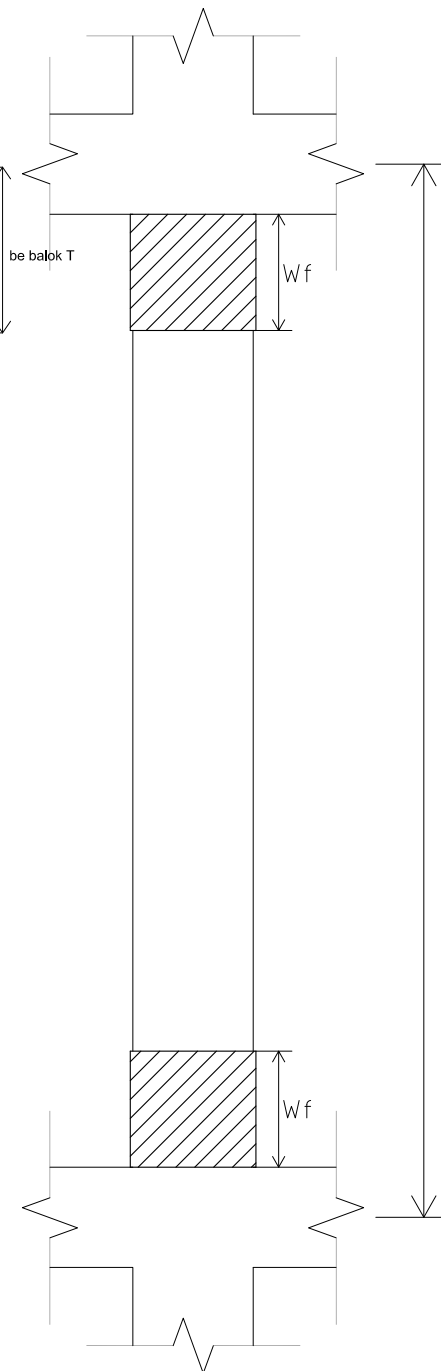


TAMPAK SAMPING BALOK

KETERANGAN:

- : PEMASANGAN CFRP TAPE PADA TUMPUAN (DIPASANG DI ATAS, SEPANJANG $1/4L$ + OVERLAP 50cm Kanan/Kiri)
- : PEMASANGAN CFRP TAPE PADA LAPANGAN (DIPASANG DI BAWAH, SEPANJANG $1/2L$ + OVERLAP 50cm Kanan-Kiri)
- ▨: PEMASANGAN CFRP WRAP PADA TUMPUAN (DIPASANG $1/4L$)

LEBAR 1 STRIP CFRP Laminate Tape = 10 CM



TAMPAK SAMPING KOLOM

INSTITUT



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI LINTAS JALUR S1 TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERKUATAN GEDUNG DENGAN MENGGUNAKAN
CARBON FIBER REINFORCED POLYMER
(CFRP)

STUDI KASUS MENGGUNAKAN LAYOUT GEDUNG
LABORATORIUM C-DAST DAN RUANG KULIAH BERSAMA
UNIVERSITAS JEMBER

DOSEN PEMBIMBING I

PROF. DR. IR. TRIWULAN, DEA

DOSEN PEMBIMBING II

DR. TECHN. PUJO AJI, ST., MT.

MAHASISWA

YUDITH VEMMY
3114.106.019

JUDUL GAMBAR

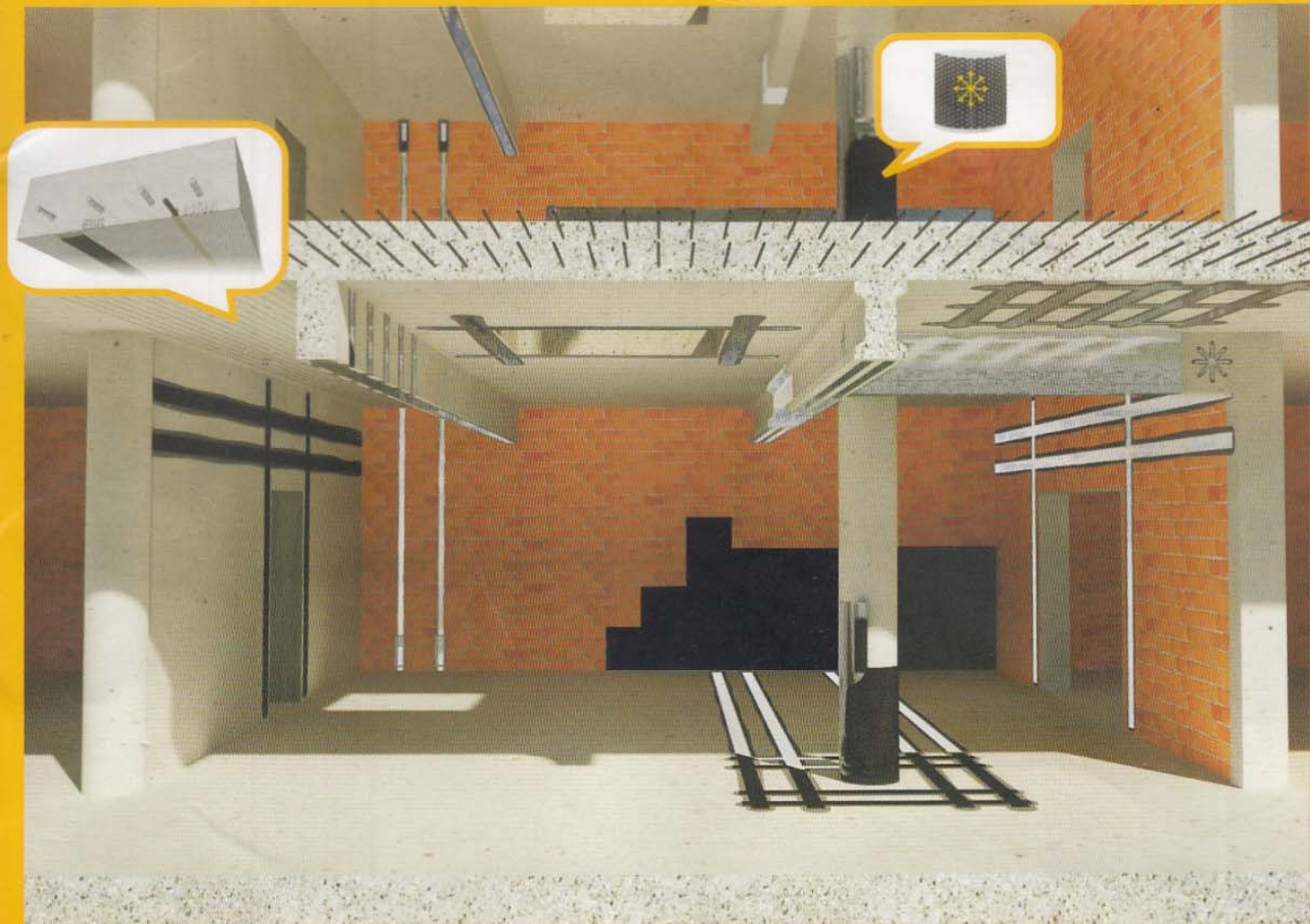
DETAIL PEMASANGAN CFRP

SKALA

1 : 100

REVISI

KODE	NO. GBR	JML. GBR
STR	25	25



REFURBISHMENT STRUCTURAL STRENGTHENING WITH SIKA SYSTEMS

SIKA PROVIDES FULLY COMPREHENSIVE SOLUTIONS WITH COMPLETE SYSTEM FOR ALL KINDS OF STRUCTURAL STRENGTHENING AND IMPROVEMENT. WHETHER INCREASING THE BENDING, SHEAR OR IMPACT RESISTANCE. TESTED AND PROVEN SIKA SYSTEMS ARE AVAILABLE FOR USE ON REINFORCED CONCRETE, WOOD, AND MASONRY LOAD-BEARING STRUCTURES.

SIKA STRENGTHENING SYSTEMS

Sika® CarboDur® System

It consists of Sika® CarboDur® CFRP Plates and Rods, together with the structural epoxy resin based adhesives Sikadur®-30. Mostly used for flexural strengthening of dynamic and static loaded structures such as bridges, buildings or factories. This simple, tested and well proven, highly durable system has outstanding performance.

SikaWrap® Fabric Strengthening System

It consists of woven or stitched, unidirectional, carbon fibre fabrics SikaWrap® and Sikadur® impregnating resins. Sikadur®-330 or Sikadur®-300. The installation is extremely flexible and accommodating of different surface planes and geometry, making this a very multi functional material for many applications including confinement, shear, seismic upgrading and weak substrate strengthening.

Product	Tensile strength (MPa)	E-modulus (MPa)	Strain at failure (%)	Thickness (mm)	Width/Diameter (mm)
---------	------------------------	-----------------	-----------------------	----------------	---------------------

Sika® CarboDur® - Plate

S-512	2,800	160,000	> 1.7	1.2	50
S-812	2,800	160,000	> 1.7	1.2	80
S-1012	2,800	160,000	> 1.7	1.2	100

Sika® CarboDur® - Rod

BC 8	3,100	148,000	> 1.7	-	Ø8
BC 10	3,100	148,000	> 1.7	-	Ø10

SikaWrap® - Fabric

231C	4,800	234,000	> 1.8	0.131	500
301C	4,900	230,000	> 1.7	0.167	500
600C	3,800	235,000	> 1.43	0.331	500

Product	Tensile E-modulus (MPa)	Tensile strength (MPa)	Adhesive strength on concrete (MPa)
---------	-------------------------	------------------------	-------------------------------------

Epoxy adhesive for Sika® CarboDur® Plate and Rod

Sikadur®-30	11,200	26	> 4
-------------	--------	----	-----

Epoxy adhesive for Sika® Wrap Fabric

Sikadur®-330	4,500	30	> 4
Sikadur®-300	3,500	45	> 4

FLEXURAL STRENGTHENING



SHEAR STRENGTHENING



CONFINEMENT STRENGTHENING



BIODATA PENULIS



Penulis yang memiliki nama lengkap Yudith Vemmy, dilahirkan di Ende, 07 November 1993, merupakan anak ketiga dari empat bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Katolik Assisi Tebing Tinggi, SMP Katolik Snata Maria Tulungagung, SMA Katolik Santo Augustinus Kediri dan Program Studi DIII Teknik Sipil FTSP-ITS Surabaya bidang konsentrasi Bangunan Gedung yang ditempuh selama 3 tahun dan lulus pada tahun 2014. Setelah lulus dari DIII Teknik Sipil FTSP-ITS Surabaya penulis melanjutkan pendidikan Sarjana di Program Studi Lintas Jalur Teknik Sipil FTSP-ITS pada tahun 2015 dan terdaftar dengan NRP. 3114 106 019. Apabila ada yang ingin ditanyakan terkait tugas akhir ini dapat menghubungi penulis pada alamat email berikut yudithvemmy@gmail.com.

“ Halaman ini Sengaja Dikosongkan”